



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
UPIIZ

Área de ubicación para el desarrollo del trabajo
Ingeniería en sistemas computacionales

Línea de investigación
Sistemas embebidos

Título del proyecto de trabajo terminal
Sistema de medición y monitoreo de creatinina en la
sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis.

Presentan

Benítez Banegas Eduardo Daniel
Delgado Castañeda Arturo Alejandro

Director:

M. en I. Umanel Azazael Hernández González

Asesores:

M. en T.I. José Luis Ávila Díaz
MHPE. Verónica Esparza Cordero



Zacatecas, Zacatecas. 07 de Octubre del 2020

Autorización de uso de obra

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Presente

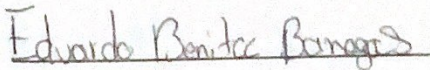
Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Eduardo Daniel Benitez Banegas y Arturo Alejandro Delgado Castañeda**, estudiantes del programa de **Ingeniería en Sistemas Computacionales**, con numero de boletas **2014670199 y 2015670039**, adscritos a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **Sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis**, en adelante **el trabajo de titulación** y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el Artículo 27 Fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al Instituto Politécnico Nacional, en adelante el "IPN", autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales y/o cualquiera que al IPN le parezca conveniente el trabajo de titulación por un periodo indefinido contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso al "IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, el "IPN" deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de el trabajo de titulación.

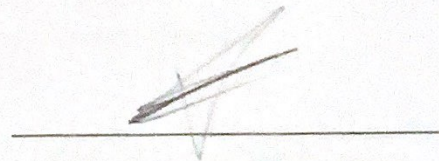
Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de el trabajo de titulación, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene a ninguna otra otorgada por el suscrito respecto de el trabajo de titulación por lo que deslindo de toda responsabilidad al "IPN" en caso de que el contenido de el trabajo de titulación o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., a 7 de Octubre del 2020.

Atentamente



Eduardo Daniel Benitez Banegas



Arturo Alejandro Delgado Castañeda



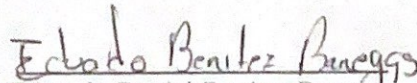
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
UPIIZ

Área de ubicación para el desarrollo del trabajo
Ingeniería en sistema computacionales

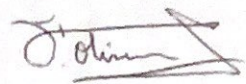
Línea de investigación
Sistemas embebidos


Título del proyecto de Trabajo Terminal
Sistema de medición y monitoreo de creatinina en la
sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis.

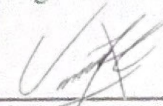
Presenta(n):



Eduardo Daniel Benítez Banegas

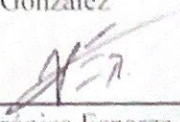

Arturo Alejandro Delgado Castañeda


M.C. Fernando Olivera Domínguez
Presidente


M.C.C. Roberto Oswaldo Cruz Leija
Secretario de Jurado


M. en I. Umanuel Azazael Hernández González
Vocal 1


M.T.I. José Luis Ávila Díaz
Vocal 2


MHPE. Verónica Esparza Cordero
Vocal 3



Agradecimientos

Por parte de Arturo Alejandro Delgado Castañeda

A mi madre que siempre ha estado para mi, apoyándome; persona sin la cual jamás pudiera llegar a dar los pasos que he dado hasta ahora ni aspirar a ser la persona de bien que pretendo ser.

A mis abuelos los cuales siempre han estado apoyándome y al tanto de mis necesidades; personas sin las cuales jamás podría llegar a aspirar a ser el profesionista en el que me estoy convirtiendo.

A trionix technologies, parte de mi crecimiento profesional actual está siendo gracias a ellos, es muy importante siempre recordar quien creyó en ti y quien te da la confianza de entrar en un ambiente laboral por primera vez.

Por parte de Eduardo Daniel Benítez Banegas

Agradezco enormemente a mis padres que han sido un gran soporte dentro de este proyecto y de toda mi vida, que siempre me apoyan en mis grandes dificultades y además de decirme que hay que seguir siempre adelante, no tengo palabras de describir todo ese apoyo moral y amoroso que mi inculcan cada día.

Agradezco a mi institución académica por inculcarme todo ese conocimiento y plasmarlo en este proyecto además de agradecer a todos mis maestros, asesores, técnicos y administrativos de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías Campus Zacatecas.

Dedicatorias

*Para todas aquellas personas que sufren de insuficiencia renal
crónica.*

La técnica al servicio de la patria.

Resumen

En el estudio “Epidemiología de la Insuficiencia Renal en México” dado a conocer por la Secretaria de Salud en 2010, se destaca que cada año se sumaban al menos 40,000 nuevos casos de insuficiencia renal. Sin embargo, debido a la falta de cultura de prevención, este padecimiento ha tenido un mayor crecimiento en los últimos años [1]. Los pacientes con insuficiencia renal deben someterse a tratamientos no curativos, altamente invasivos y demandantes que son muy desgastantes desde el punto de vista psicológico, físico y social. Entre los tratamientos se encuentra la hemodiálisis que debe acompañarse con toma de medicamentos, dieta estricta y restricción de líquidos [2]. Los pacientes al tener sus primeras sesiones de hemodiálisis suelen tener un desgaste mucho mayor, por lo que es importante conocer que tan efectiva es la terapia. Por ello se debe tener conocimiento de los niveles de la creatinina al principio y al final de la terapia. En el desarrollo del presente proyecto se pretende realizar un sistema embebido comprendido por un dispositivo capaz de medir los niveles de creatinina con 3 mililitros de sangre, para pacientes con problemas renales, que se encargará de mandar dichos valores a una base de datos. Esta base de datos brindará los datos a una aplicación que sea capaz de generar reportes sobre el estado de salud del paciente y poder ayudar al médico en la toma de decisiones en la terapia de hemodiálisis.

Palabras clave

Aplicación móvil, Base de datos, Creatinina, Hemodiálisis, Insuficiencia renal, Sistema embebido.

Abstract

In the study "Epidemiology of Renal Insufficiency in Mexico" released by the Secretary of Health in 2010, it's highlighted that each year there were at least 40,000 new cases of kidney failure. However, due to the lack of prevention culture, this condition has had a greater growth in recent years [1]. Patients with renal failure has to go through non-curative, highly invasive and demanding treatments that are very debilitating from a psychological, physical and social point of view. Among the treatments we can find: hemodialysis, which must be accompanied by medication, strict diet and fluid restriction [2]. When patients have their first hemodialysis sessions, usually, they have a greater wear, so it's important to know how effective the therapy is. Therefore, the levels of creatinine should be known at the beginning and end of therapy. In the development of this project we intend to make an embedded system comprised of a device capable of measuring the levels of creatinine with 3ml of blood, for patients with kidney problems, which will be responsible for sending these values to a database. This database will provide data to an application that is capable of generating reports of the patient health status and to help the doctor in making decision in hemodialysis therapy.

Keywords

Creatinine, Data base, Embedded system, Hemodialysis, Mobile application, Renal failure.

5.1.10 Historial de versiones Software	62
	5.2 Hardware 64
5.2.1 Centrifugadora.....	64
5.2.1.1 Descripción y Especificaciones de la centrifugadora.....	64
5.2.1.2 Ecuación Matemática de la centrifugadora	65
5.2.1.3 Diagrama Circuito Eléctrico de la Centrifugadora.....	66
5.2.1.4 Modelos en 3D de la Centrifugadora	66
	5.2.2 Incubadora 68
5.2.2.1 Descripción y Especificaciones.....	68
5.2.2.2 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora	69
5.2.2.3 Diseño e impresión de PCB	71
5.2.2.4 Modelo 3D de la Incubadora	71
5.2.3 Espectrofotómetro.....	73
5.2.3.1 Descripción y Especificaciones.....	73
	5.2.3.2 Ecuaciones 75
	5.2.3.3 Envío de Datos 77
5.2.3.4 Diagrama de Circuito Eléctrico.....	78
	5.2.3.5 PCB Diseño 79
5.2.3.6 Modelo en 3D del Espectrofotómetro	80
5.2.3.7 Dispositivo completo del Espectrofotómetro	81
5.2.4 Alimentación	82
5.2.5 Plan de Pruebas de Hardware	84
5.2.6 Historial de Versiones Programación de Hardware	85
5.3 Análisis Químico	86
5.3.1 Plan de Pruebas de Química.....	86
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	87
Cronograma original vs Cronograma Actual.....	89
Capítulo VII: Fuentes de Consulta.....	91

Índice de Tablas

Tabla 1	Tabla de comparación de productos similares vs hospital	8
Tabla 2	Fórmula CKD-EPIe	14
Tabla 3	Técnica de reactivos.....	18
Tabla 4	Valores de referencia de creatinina.....	18
Tabla 5	Relación entre transmitancia y absorbancia.....	26
Tabla 6	PLA Temp. de fusión y Temp. de transición	29
Tabla 7	Descripción de los tipos de UML.....	38
Tabla 8	Requisitos funcionales y no funcionales.....	43
Tabla 9	Casos de uso	45
Tabla 10	Diccionario de datos	56
Tabla 11	Plan de pruebas software.....	59
Tabla 12	Historial de Versiones Software.....	63
Tabla 13	Especificaciones de la centrifugadora propuesta	65
Tabla 14	Plan de Pruebas Hardware.....	84
Tabla 15	Historial de versiones de programación Hardware.....	85
Tabla 16	Plan de Pruebas Química	86
Tabla 17	Cronograma original.....	89
Tabla 18	Cronograma Actual.....	90

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Protocolo I2C maestro-esclavo.....	25
Ilustración 2 Filamento de PLA.....	29
Ilustración 3 Metodología V.....	30
Ilustración 4 Modelo de componentes.....	41
Ilustración 5 Modelo Relacional.....	47
Ilustración 6 Diagrama de clase.....	60
Ilustración 7 Diagrama del circuito eléctrico de la centrifugadora.....	66
Ilustración 8 Diseño en 3D en SolidWorks Centrifugadora.....	67
Ilustración 9 Elementos físicos de la centrifugadora 3D.....	67
Ilustración 10 Dispositivo armado de los elementos de la centrifugadora.....	68
Ilustración 11 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora Placa de Peltier.....	69
Ilustración 12 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora Motor Reductor.....	70
Ilustración 13 Diagrama unificado Motor Reductor & Placa de Peltier.....	70
Ilustración 14 Placa de Peltier & Motor reductor PCB.....	71
Ilustración 15 Diseño en SolidWorks Incubadora.....	71
Ilustración 16 Diseño en SolidWorks Incubadora 2.....	72
Ilustración 17 Elementos físicos de la incubadora impresos en 3D.....	72
Ilustración 18 Dispositivo armado de los elementos de la incubadora.....	73
Ilustración 19 RGB.....	74
Ilustración 20 Gráfica de la curva de irradiancia.....	75
Ilustración 21 Circuito eléctrico LED RGB.....	78
Ilustración 22 21Circuito eléctrico LED RGB 2.....	78
Ilustración 23 Circuito eléctrico Sensor OPT101.....	78
Ilustración 24 PCB Diseño Led RGB.....	79
Ilustración 25 PCB Diseño OPT101.....	79
Ilustración 26 Impresión PCB OPT101 & Led RGB.....	80
Ilustración 27 Modelo 3D del espectrofotómetro.....	80
Ilustración 28 Prototipo final del espectrofotómetro.....	81
Ilustración 29 Diseño PCB de la alimentación.....	82
Ilustración 30 Impresión PCB de la alimentación.....	83

Capítulo I: Introducción

Los seres humanos están constituidos por una serie de sistemas, los cuales les permiten distribuir, metabolizar y eliminar todas las sustancias que entran al organismo, dentro del sistema urinario mantiene los productos químicos, por ejemplo, el sodio, potasio y el agua en equilibrio, eliminando cualquier toxina a través de la evacuación de la orina como son la creatinina y la urea.

El aparato urinario está constituido anatómicamente por dos riñones, estos órganos son de tipo densos, productores de la orina, de los que surgen sendas pelvis renales como un ancho conducto excretor que al estrecharse se denomina uréter, a través de ambos uréteres la orina alcanza la vejiga urinaria donde se acumula, finalmente a través de un único conducto, la uretra, la orina se dirige hacia el meato urinario y el exterior del cuerpo [3]. Cada riñón humano contiene alrededor de 800.000 a 1.000.000 de nefronas, cada una de las cuales es la unidad estructural y funcional, responsable de la filtración de la sangre y de la formación orina.

El riñón no puede regenerar nefronas nuevas, por tanto, en la lesión, la enfermedad o el envejecimiento renal normal, el número de nefronas se reduce gradualmente. Después de los 40 años, el número de nefronas funcionales suele reducirse alrededor de un 10% cada 10 años de forma que a los 80 años muchas personas tienen un 40% menos de nefronas funcionales que a los 40 años [4].

La mayoría de las enfermedades renales atacan a las nefronas, un daño a estas estructuras causa que los riñones no puedan eliminar las sustancias tóxicas a través de la orina. Las causas de estas enfermedades incluyen problemas genéticos, lesiones o medicamentos. Otro factor que puede aumentar el riesgo es de padecer una enfermedad renal, son padecimientos como es la diabetes mellitus, presión alta o un familiar cercano con algún problema de los riñones. La enfermedad renal crónica, va dañando las nefronas de a poco con el transcurso del tiempo. Así mismo, existen otras enfermedades que pueden afectar a los riñones tales como; cáncer, quistes, piedras e infecciones [5].

En la enfermedad del riñón crónica rara vez produce algún síntoma, no es hasta que el riñón deja de realizar su función y se van incrementando manifestaciones clínicas, y con ello se da la insuficiencia renal, la cual es un daño transitorio o permanente de los riñones, que tiene como resultado la pérdida de la función normal del riñón.

Para evaluar el funcionamiento correcto del riñón se realizan mediciones de los compuestos nitrogenado, tanto en sangre periférica como en orina. Para la evaluar los estadios de la insuficiencia renal se realiza a través del índice filtrado glomerular (IFG) que se puede pensar como “el volumen de plasma borrado de una sustancia ideal por la unidad de tiempo” [6].

Hay diversos métodos que se utilizan para estimar el IFG. El método más común es una ecuación de cálculo basada en la medición de los niveles de la creatinina del suero, usando cuatro variables relacionadas con la creatinina, la edad, el sexo, la etnia racial y del suero. El IFG estimado se da junto a la creatinina del suero en la mayoría de los partes del laboratorio.

La Creatinina, es un como compuesto necesario para determinar el IFG, es un componente que es producida por el metabolismo de los aminoácidos creatina y fosfocreatina, y una pequeña cantidad es el resultado de la ingestión de la carne [7].

Dentro de los tratamientos para tratar la IRC, se realizan en base a la etapa de daño en la que se encuentre el paciente, incluye: terapia específica, basada en el diagnóstico, evaluación y manejo de condiciones comórbidas, aminorar la pérdida de función renal, prevención y tratamiento de enfermedad cardiovascular, prevención y tratamiento de complicaciones de la función renal reducida, preparación para terapias de sustitución renal y el reemplazo de la función renal por diálisis o trasplante (Flores,2009).

En este proyecto se desarrollará un sistema embebido que permitirá realizar mediciones del nivel de la creatinina en la sangre en pacientes durante las sesiones de hemodiálisis, tanto al inicio, como al final de la sesión. De esta manera se podrá monitorear los valores correspondientes de la creatinina y determinar los valores de filtrado glomerular, a su vez dichos valores serán establecidos en una base de datos, en correlación con las medidas antropométricas, edad y sexo que permitirá llevar el control sobre el registro de las variables importantes de los pacientes en tratamiento de hemodiálisis.

Capítulo II: Definición del problema

La insuficiencia renal crónica es una enfermedad que implica la pérdida gradual de las funciones de los riñones, ésta es progresiva y puede llegar a ser terminal cuando la capacidad de función de los riñones se reduce a un 10%. Al llegar a este nivel es necesario de algún tipo de tratamiento, que suelen ser no curativos, altamente invasivos y desgastantes [2]. Entre los tratamientos para la Insuficiencia renal crónica está el trasplante de riñón y la diálisis peritoneal o hemodiálisis.

La hemodiálisis es un tratamiento médico que consiste en eliminar artificialmente las sustancias nocivas o tóxicas de la sangre, especialmente las que quedan retenidas a causa de una insuficiencia renal.

La hemodiálisis actual no es un procedimiento que se emplea para preservar la vida de un paciente que de otro modo moriría por un corto periodo de tiempo. Es una modalidad terapéutica constituida como método sustitutivo de la función renal que hoy permite a cerca de 1 millón de personas en todo el mundo a vivir por muchos años, pero para ello es necesario garantizar la calidad de la misma, que es igual a la suma de los múltiples detalles que la integran y que a largo plazo determinan la calidad de la vida del enfermo y su supervivencia. El tratamiento de hemodiálisis se realiza 3 veces a la semana en un promedio de 4 horas por sesión, dicho tratamiento causa desgaste físico, mental, emocional, económico y de tiempo, el paciente que es sometido a este tratamiento tiene que seguir una valoración de los marcadores de la función renal como la creatinina y el IFG para determinar la eficiencia y calidad del tratamiento, por lo que al paciente se le solicitan estudios de laboratorio constantemente [8].

Con la hemodiálisis se ha logrado prolongar y mejorar la calidad de vida de los pacientes renales, debido a la reducción de toxinas (urea, creatinina y otros) responsables de provocar diferentes alteraciones a nivel renal [9]. Además, algunos pacientes refieren que una visita a hospitales particulares para hacerse una evaluación de salud tiene un costo que va de los \$1000.00 hasta los \$1500.00 pesos (por examen). Y sus tiempos de espera para la adquisición de resultados van alrededor de 8 horas; añadiéndole los costos de transporte y de consultas médicas. El costo anual promedio en el sector público por el tratamiento de un individuo en hemodiálisis es de \$158 964.00 M. N., 10 mil pesos menos que el costo de producción promedio en el sector privado y del precio anual de la subrogación [10].

Los valores emitidos en dichos estudios proporcionan al médico, los referentes necesarios para otorgar el tiempo de la sesión de hemodiálisis, al comienzo de la misma, pero no existe una valoración de los marcadores de la función renal al término del proceso de la hemodiálisis, por lo tanto, no se establece la eficiencia y calidad de este tratamiento.

Por ello, el presente trabajo pretende realizar un sistema embebido como recurso de monitoreo pre-hemodiálisis y post-hemodiálisis, cuantificando los valores reales de creatinina (marcadores de la función renal) consecutivo al término del tratamiento.

2.1 Contexto y antecedentes generales del problema

Los riñones sanos filtran la sangre eliminando el exceso de líquido, los minerales y los desechos. También los riñones producen hormonas que mantienen los huesos fuertes y la sangre sana. Cuando los riñones fallan, los desechos dañinos se acumulan en el cuerpo, la presión arterial puede elevarse y el cuerpo puede retener el exceso de líquido y no producir suficientes glóbulos rojos.

La creatinina es una sustancia inofensiva en la sangre, y es producida y eliminada de forma constante por el organismo. Si el paciente mantiene su masa muscular más o menos estable, pero presenta un aumento de los niveles de creatinina sanguínea, es una importante señal de que su proceso de eliminación del cuerpo está comprometido, es decir, los riñones están con algún problema para excretarla [11].

Si los riñones no están consiguiendo eliminar la creatinina producida diariamente por los músculos, éstos estarán, probablemente con problemas para eliminar otras diversas sustancias de nuestro metabolismo, incluyendo toxinas. Por lo tanto, un aumento de concentración de creatinina en la sangre (creatinina alta) es una señal de insuficiencia renal.

Se estima que en todo el mundo existan millones de personas con algún grado de disfunción de los riñones; en el 70% de los casos, ni siquiera creen que pueden estar enfermos. El método más eficiente para diagnosticar precozmente las enfermedades del riñón es a través de la medición de creatinina y del índice de filtrado glomerular [12].

2.2 Situación problemática o problema de investigación

No se cuenta con un sistema que permita conocer y realizar mediciones de los niveles de creatinina pre y post hemodiálisis.

2.3 Estado del arte

En la actualidad existe solo 1 empresa dedicada a la realización de dispositivos portables para la medición de creatinina. Novabiomedical es una empresa dedicada a analizar tomas de sangre para uso hospitalario hasta analizadores de química/células para biotecnología y sistemas de control para la autoevaluación de la diabetes [13].

Dicha empresa solo ha lanzado dos productos al mercado; estos productos se centran en la medición de creatinina. Cada uno se diferencian únicamente por el número de pruebas de sangre a realizar, sus precios se encuentran entre los \$800.00 hasta los \$3000.00 dólares [14].

Cabe mencionar que estos productos no se encuentran fácilmente dentro del territorio mexicano, ya que sus ventas solo se encuentran en Europa, Estados Unidos y Canadá; el adquirirlos por internet es también difícil ya que no se encuentran en eBay, MercadoLibre, Amazon ni en la misma página oficial de la empresa ya mencionada.

Dichos aparatos solo funcionan con una cierta cantidad de pruebas, cuando estas se agotan, es necesario seguir comprando más tiras reactivas para su uso continuo, un paquete de estas tiras reactivas solo contiene para 25 pruebas y su precio se redondea en los \$4000.00 MXN [15].

La siguiente tabla (Tabla 1) muestra una comparación de los productos similares al propuesto versus los estudios que se realizan en los hospitales:

Opciones Especificaciones	Medidor de creatinina StatSensor	Medidor de creatinina StatSensor Xpress	Hospital
Peso	220 gr.	75 gr	Varios equipos
Tamaño	(153 mm x 82,5 mm x 46 mm)	(91 mm x 58 mm x 23 mm)	Desconocido
Disponibilidad	Disponible en los Estados Unidos	No disponible en los Estados Unidos, Canadá y México	Disponible solo en hospitales
Tiempo de pruebas	30 segundos	Desconocida	8 horas y caso de urgencias 3 horas
Número de	1000 pruebas	400 pruebas	1

pruebas vs Almacenamiento de pruebas	200 pruebas	X	X
Batería	Batería recargable de litio polímero 3.7v	Batería tipo botón de litio de 3v	Conexión a 120 volts
Conectividad Web	X	X	X
Visor LCD	✓	✓	X
Contador automático de muestras con fecha/hora	✓	✓	X
Centrifugadora	X	X	✓
Sistema de Software	X	X	✓
Graficas	X	X	X
Reporte mensual	X	X	X
Sistema de alerta	X	X	X
Medidor de Creatinina	✓	✓	✓
Medidor de Urea	X	X	✓
Precio	\$750.00 dólares	\$ 400.00 dólares (de segunda mano)	\$ 1,200.00 pesos. En Hospital particular por prueba

Tabla 1 Tabla de comparación de productos similares vs hospital

2.4 Descripción del proyecto

En este proyecto se desarrollará un sistema embebido que permitirá realizar mediciones del nivel de la creatinina en la sangre en pacientes durante las sesiones de hemodiálisis, tanto al inicio, como al final de la sesión. De esta manera se podrá monitorear los valores correspondientes de la creatinina y determinar los valores de filtrado glomerular, a su vez dichos valores serán establecidos en una base de datos, en correlación con las medidas antropométricas, edad y sexo que permitirá llevar el control sobre el registro de las variables importantes de los pacientes en tratamiento de hemodiálisis.

Estos datos serán enviados al ordenador del médico tratante, lo que permitirá realizar una valoración de la funcionalidad y eficiencia del tratamiento; a su vez permitirá la toma de decisiones en relación de los tiempos de sesiones de hemodiálisis, así como los cuidados paliativos del paciente; con ello se pretende además disminuir el desgaste físico y económico del paciente que lo utilice.

Para el análisis de la muestra sanguínea se utiliza la reacción química aplicable para fotometría escrita por M. E. Jaffé (1886), basada en el color anaranjado que se produce al reaccionar la creatinina con el picrato alcalino. Para su preparación se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Tener el plasma o suero. Se obtiene a partir del centrifugado de la muestra sanguínea total. La creatinina en suero y plasma tiene una estabilidad de al menos 24 horas.
2. Espectrofotómetro termostable a 37°C con filtro de 490-510 nm.
3. Los reactivos están listos para su uso. Mezclar ambos reactivos a partes iguales según necesidades. Esta mezcla es estable 10 días a temperatura ambiente.
4. Mezclar y poner en marcha el cronómetro. Anotar la D. Óptica a los 30 segundos (E1) y a los 90 segundos (E2). Lectura a 492 nm (490-510) [16].
5. Realización de cálculos y enviarlos a la Raspberry PI 3.

Todos los valores capturados, así como los calculados, serán enviados al ordenador del médico tratante, lo que permitirá realizar una valoración de la funcionalidad y eficiencia del tratamiento; a su vez permitirá la toma de decisiones en relación de los tiempos de sesiones de hemodiálisis, así como los cuidados paliativos del paciente; con ello se pretende además disminuir el desgaste físico y económico del paciente que lo utilice

2.5 Objetivo general del proyecto

- Diseñar y construir un sistema embebido de monitoreo de los niveles de creatinina en la sangre en pacientes en hemodiálisis, registrando las mediciones en una base de datos que será retroalimentada por el médico tratante.

2.6 Objetivos particulares del proyecto

- Diseñar y construir un dispositivo para toma de muestra sanguínea y separación de sueros plasmáticos en pacientes con tratamiento de hemodiálisis.
- Diseñar y construir un dispositivo para determinación de creatinina en suero a partir de la reacción de Jaffé en pacientes con tratamiento de hemodiálisis.
- Diseñar y desarrollar un sistema que permita el registro histórico de los niveles de creatinina y de IFG del paciente.
- Establecer una red de comunicación directa entre el paciente y el médico.

2.7 Justificación

En la actualidad hay un aumento considerable en el número de pacientes con problemas renales en México, de acuerdo con el estudio de Epidemiología de la insuficiencia renal en México, de la Secretaría de Salud, cada año se suman 40 mil nuevos casos, por lo que es necesario un sistema que haga un prediagnóstico para el control de la salud del paciente [1].

Actualmente la insuficiencia renal crónica es un padecimiento que afecta a gran parte de la población. Los pacientes al recibir un tratamiento de hemodiálisis suelen someterse a estudios de laboratorios para conocer su estado de salud. Los médicos se basan en estos análisis para tomar decisiones en cuanto al tratamiento, sin embargo, debido a que no se lleva un monitoreo constante, es difícil saber con un único estudio si la terapia realmente tiene el efecto esperado. El realizar estos estudios de manera particular es muy costoso y en los sistemas públicos no suelen tener la suficiente capacidad para realizarlos constantemente. Debido a esto es muy improbable que se tome en consideración realizar un monitoreo en cada sesión de hemodiálisis.

La realización de este sistema embebido es importante debido a que se busca facilitar al paciente con problemas renales en el tratamiento de hemodiálisis, el manejo de la información relacionada con su enfermedad, con los tratamientos paliativos y a su vez permitir tomar decisiones por parte del médico encargado de revisar su estado de salud. Con el desarrollo de este sistema embebido se asegura una herramienta útil tanto para el médico como al paciente. Con ello, se generarán reportes, gráficas y un sistema de interacción con el usuario que le dará a conocer sus niveles de creatinina en la sangre, su IFG y las recomendaciones por parte del médico.

2.8 Hipótesis

Es posible desarrollar un sistema embebido como recurso de monitoreo de los niveles de creatinina pre-hemodiálisis y post-hemodiálisis.

Capítulo III: Marco Teórico

3.1 Los riñones y su función

Riñones

Son órganos par y principal del sistema urinario cuya función primordial es la de filtrar la sangre y producir la orina que posteriormente es eliminada del cuerpo a través de los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra, órganos accesorios del sistema urinario. Los riñones también desempeñan un papel muy importante en la regulación del plasma sanguíneo: controlan el equilibrio de agua y sales (hidroelectrolítico) de la sangre y la tensión arterial. Los riñones miden unos 12 cm de longitud por 6 cm de ancho aproximadamente, y por lo general el izquierdo suele ser un poco mayor. Se encuentran situados en las cavidades lumbares, a cada lado de la columna vertebral, entre la última vértebra torácica y las primeras lumbares, aunque el riñón derecho se sitúa en una posición un poco inferior debido a que el hígado ocupa parte del espacio que se halla por encima de dicho riñón [17].

Cada día, los riñones de una persona procesan aproximadamente 190 litros de sangre para eliminar alrededor de 2 litros de productos de desecho y agua en exceso. Los desechos y el agua en exceso se convierten en orina que fluye hacia la vejiga a través de unos conductos llamados uréteres. La vejiga almacena orina hasta que la libera al orinar. La remoción de los desechos ocurre en minúsculas unidades dentro de los riñones, llamadas nefronas. Cada riñón tiene alrededor de un millón de nefronas. En la nefrona, un glomérulo que es un vaso sanguíneo pequeño o capilar está entrelazado con un tubo minúsculo que recolecta orina [18].

Glomérulo renal

El glomérulo es la unidad anatómica funcional del riñón donde radica la función de aclaramiento o filtración del plasma sanguíneo. El glomérulo está constituido por una red de vasos capilares rodeado por una envoltura externa en forma de copa llamada cápsula de Bowman ubicada en el nefrón del riñón de todos los vertebrados [19].

La nefrona o nefrón, se encarga del filtrado de las sustancias de desecho de la sangre para eliminarlas a través de la orina. Reabsorbe parte del agua y las moléculas útiles. Cada riñón tiene aproximadamente un millón de nefronas [20].

Función renal

El término de “función renal” se utiliza para referirse a la eficiencia con la que los riñones filtran la sangre. Las personas con dos riñones sanos tienen el 100 por ciento de la función de sus riñones. Una reducción pequeña o leve de la función de los riñones, hasta un 30 o 40 por ciento, sería muy difícil de percibir. La función de los riñones ahora se calcula usando una muestra de sangre y una fórmula para determinar el índice de filtración glomerular estimada corresponde al porcentaje disponible de función renal [18].

Índice de filtración glomerular (IFG)

El índice de Filtración Glomerular (IFG) se estima mediante el cálculo del aclaramiento de creatina en función del índice de creatinina en la sangre (creatinina sérica), pero también depende de la edad, del sexo y del peso del individuo. El aclaramiento de creatinina permite identificar una insuficiencia renal [21].

La ecuación (MDRD) para la estimación del índice de filtrado glomerular (IFG), es la estrategia más utilizada para evaluar pacientes con enfermedad renal crónica (ERC). La nueva ecuación (CKD-EPI), mejoraría la exactitud y precisión de las estimaciones. Sus autores sugieren que reemplace a la anterior. Fue confeccionada a partir de una población de 8254 individuos, provenientes de diez estudios diferentes incluido el MDRD, de quienes se contaba con una medición directa del filtrado glomerular mediante aclaramiento de iotalamato. Esta nueva ecuación (CKD-EPIe) logró mejorar la precisión y exactitud frente a la medida directa de IFG, respecto de lo observado con MDRDe, en especial para valores de IFG superiores a 60 ml/min/1.73 m². Por este motivo, sus autores sugieren que MDRDe, podría ser sustituida por CKD-EPIe en la práctica clínica [22].

Las siguientes fórmulas fueron obtenidas a partir del artículo antes ya referenciado [22], con el fin de que el lector conozca cómo se aplican las fórmulas para sacar el IFG.

a) *MDRDe (Modification of Diet in Renal Disease)*

$$\text{IFG} = 175 * (\text{Creatinina})^{1.154} * (\text{Edad})^{0.203} * (0.742 \text{ para hombres y } 0.863 \text{ para mujeres}) * (1.212 \text{ para hombres y } 1.154 \text{ para mujeres})$$

b) CKD-EPIe

Fórmula para “etnia negra”

Sexo	Creatinina	Fórmula para el FG estimado
Femenino	≤ 0.7mg/ml	$! "# = 166 * \left(\frac{C}{0.7} \right)^{0.329} * (0.993)^{<=<}$
	> 0.7mg/ml	$! "# = 166 * \left(\frac{C}{0.7} \right)^{1.209} * (0.993)^{<=<}$
Masculino	≤ 0.9mg/ml	$! "# = 163 * \left(\frac{C}{0.9} \right)^{0.411} * (0.993)^{<=<}$
	> 0.9mg/ml	$! "# = 163 * \left(\frac{C}{0.9} \right)^{1.209} * (0.993)^{<=<}$

Fórmula para “etnia blanca”

Sexo	Creatinina	Fórmula
Femenino	≤ 0.7mg/ml	$! "# = 144 * \left(\frac{C}{0.7} \right)^{0.329} * (0.993)^{<=<}$
	> 0.7mg/ml	$! "# = 144 * \left(\frac{C}{0.7} \right)^{1.209} * (0.993)^{<=<}$
Masculino	≤ 0.9mg/ml	$! "# = 141 * \left(\frac{C}{0.9} \right)^{0.411} * (0.993)^{<=<}$
	> 0.9mg/ml	$! "# = 141 * \left(\frac{C}{0.9} \right)^{1.209} * (0.993)^{<=<}$

Tabla 2 Fórmula CKD-EPIe

La ecuación MDRD no puede ser aplicado en pacientes menores de 18 años o mayores de 70 años, hospitalizados, con enfermedades debilitantes asociadas a comorbilidad, embarazadas y en casos especiales como en individuos que siguen dietas vegetarianas, amputados o personas con masa muscular o estados nutricionales extremos [22].

Valores normales de IFG

Hombre: 94 - 140 ml/min/1,73 m2

Mujer: 72 - 110 ml/min/1,73 m2

IFG Gestantes: 95 – 160 ml/min/1,73 m2

Bajo qué circunstancias el medico solicita dicho examen

- Para conocer qué tan bien están operando los riñones.
- Cuando ya se conoce que hay falla renal, para saber cómo está evolucionando la enfermedad, si está mejorando o no en el tiempo.
- Para descartar que algunas enfermedades sistémicas crónicas ya diagnosticadas, con un alto potencial de generar problemas renales, tales como la diabetes, cardiopatías, Infecciones Urinarias recurrentes o Hipertensión arterial, puedan estar desencadenando daño en los riñones y por tanto alteraciones del IFG o IFG.

La concentración de Creatinina en sangre por sí sola (sin el cálculo de la IFG) es de poco aporte para diagnosticar la ERC, ya que se requiere que exista un descenso de la IFG de al menos el 50% para que la creatinina no se pueda eliminar eficientemente por la orina y que, por tanto, aumente su concentración en la sangre por encima de los rangos de referencia. De tal manera que no es recomendable que los médicos evalúen la función de los riñones únicamente por medio de la creatinina sanguínea, lo ideal es calcular la IFG con cualquiera de las fórmulas ya aportadas en este artículo [23].

Creatinina

La creatinina o también llamada “Creatinina Sérica” es una sustancia derivada de la degradación de la creatina a nivel de las células musculares. Es un simple residuo orgánico que normalmente se elimina por la orina después de pasar a través de los riñones. Sin embargo, es muy útil en medicina para evaluar la función de eliminación realizada por los glomérulos renales [21].

Examen de creatinina en la sangre

Es un examen que mide el nivel de creatinina en la sangre y se hace para ver qué tan bien funcionan los riñones La creatinina es eliminada del cuerpo completamente. Si la función renal es anormal, los niveles de creatinina se incrementan en la sangre, debido a que se elimina menos creatinina a través de la orina. Los niveles de creatinina también varían de acuerdo con la talla y la masa muscular de una persona [22]. Se tiene que realizar un examen clínico sanguíneo mínimo tres veces al mes.

Preparación

Se realiza a través de la extracción de sangre vía venosa, Cuando se introduce la aguja para extraer la sangre, algunas personas sienten un dolor moderado; otras sólo sienten un pinchazo o sensación de picadura.

Para la determinación de la creatinina en suero se necesita del método de la reacción de Jaffé. El método de Jaffé es el método a punto final, la creatinina reacciona con el picrato en medio alcalino formándose un complejo de color rojo. Se mide la absorbancia a 520nm que será proporcional a la concentración de creatinina. Esta reacción esta inferida por compuestos como piruvato, ascorbato, acetona y glucosa por lo que, para evitarlo, se recurre a la determinación cinética o bien un pretratamiento de la muestra con tierra de Fuller:

- a) Determinación cinética: la formación del complejo se monitoriza después de un tiempo de retardo (que oscila entre 10 y 60 segundos) en el que se eliminan las sustancias interferentes.
- b) Pretratamiento con tierra de Fuller: se absorbe la creatinina de un filtrado libre de proteínas, separándola así de las sustancias interferentes presenta el inconveniente de que es difícilmente automatizable [23].

1. Muestra Clínica

- Suero o plasma heparinizado.
- La creatinina en suero y plasma tiene una estabilidad de al menos de 24 horas a 2-8°C.

2. Reactivos y Material

Material necesario

- 1 Micropipeta de 1 mL
- 1 Micropipeta de 200 µL.
- 1 Piseta con agua desionizada o destilada
- 2 Celdas de plástico de 3 ml
- 5 Tubos de vidrio de 13X100
- Puntas para micropipeta
- Gradilla.

Equipo

- Fotómetro termostable a 37°C con filtro de 490-510 nm.
- Centrífuga

Contenido del equipo

Reactivo 1 → Ac. pícrico 17.5 mmol/L

Reactivo 2 → Hidróxido sódico 0.29 mol/L

Estándar → Sol. Creatinina 2.0 mg/Dl


Preparación y estabilidad


Los reactivos están listos para su uso.


Son estables a temperatura ambiente hasta la fecha de caducidad indicada en el envase.

Mezcla reactiva: Mezclar ambos reactivos a partes iguales según necesidades. Esta mezcla es estable 10 días a temperatura ambiente.

3. Técnica

Longitud de onda:  490 nm (490-510)

Temperatura:  25/30/37°C

Paso de luz:  1 cm paso de luz

Ajuste del cero con blanco de reactivo.

	Blanco	Estándar	Muestra
Estándar		200 µL	
Muestra			200 µL
Reactivo	2.0 mL	2.0 mL	2.0 mL

Tabla 3 Técnica de reactivos

Mezclar e incubar 5 min a 37°C ó 10 min a temperatura ambiente.

Mezclar y poner en marcha el cronómetro.

Anotar la D. Óptica a los 30 segundos (E1) y a los 90 segundos (E2).

Lectura a 492 nm (490-510)

4. Cálculos

$$\begin{aligned}
 \text{D}_{\text{muestra}} \times \left(\frac{\text{Volumen blanco}}{\text{Volumen muestra}} \right) &= \Delta \cdot \left(\frac{\text{Volumen blanco}}{\text{Volumen muestra}} \right) + 2 \cdot \left(\frac{\text{Volumen blanco}}{\text{Volumen muestra}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Volumen muestra}}{\text{Volumen blanco}} \right) \\
 &= \Delta \cdot \left(\frac{\text{Volumen blanco}}{\text{Volumen muestra}} \right) + 2 \cdot \left(\frac{\text{Volumen muestra}}{\text{Volumen blanco}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\text{D}_{\text{muestra}} \times 688.4 = \text{C}970/?$$

[16]

Valores normales de creatinina

Sujetos	Concentración
Infantes	0.2 – 0.4 mg/dL
Niños	0.3 – 0.7 mg/dL
Adolescentes	0.5 – 1 mg/dL
Mujeres adultas	0.5 – 1.1 mg/dL
Varones adultos	0.6 – 1.2 mg/dL

Tabla 4 Valores de referencia de creatinina

3.2 Insuficiencia renal, su relación con la FG y tratamiento

Insuficiencia renal

Es un trastorno que afecta al riñón y que provoca una disfunción del mismo. Puede ser aguda o crónica; en la aguda, la reducción de la función renal es súbita y afecta a los sujetos en los que los riñones previamente estaban sanos; los síntomas clínicos son una secreción extrema o nula de orina y un aumento de las concentraciones plasmáticas de creatinina, urea y ácido úrico. Las causas que pueden conducir a esta patología son la existencia de un obstáculo en las vías excretoras urinarias (cálculos), una insuficiencia cardíaca, una lesión del parénquima renal (“Parénquima renal es el nombre general de corteza renal y médula renal. Enfermedad de parénquima renal es un estado patológico y opuesto a intersticio renal” [24]) provocada por sustancias tóxicas o infecciones, hemorragias, septicemias, golpes de calor, quemaduras, etc. En la insuficiencia renal crónica, el trastorno que afecta al riñón es irreversible. El resultado es la existencia de numerosas alteraciones que afectan a ambos riñones. Los síntomas clínicos son un incremento de la concentración plasmática de creatinina, acidosis metabólica, trastornos del metabolismo del fósforo y el calcio (que conduce a alteraciones óseas), anemia, trastornos del metabolismo de los glúcidos y de los lípidos, trastornos cardiovasculares y endocrinos (esterilidad, trastornos menstruales, astenia genital, etc.) e hipertensión arterial [25].

Resultados normales de IFG

Según la National Kidney Foundation, los resultados normales van de 90 a 120 mL/min/1.73m². Las personas mayores tendrán niveles de IFG por debajo de lo normal, debido a que dicho índice disminuye con la edad. Los rangos de los valores normales pueden variar ligeramente entre diferentes laboratorios. Algunos utilizan diferentes mediciones o analizan muestras distintas [26].

Significado de los resultados anormales de IFG

Los niveles por debajo de 60 mL/min/1.73m² durante 3 o más meses son un signo de enfermedad renal crónica. Un resultado de IFG por debajo de 15 mL/min/1.73m² es un signo de insuficiencia renal y requiere atención médica inmediata [26].

Tratamiento de IRC

Los pacientes con IRC deben someterse a tratamientos no curativos, altamente invasivos, demandantes y que involucran altos costos para el paciente y su familia, a nivel físico, psicológico, social y económico. Entre los tratamientos de sustitución renal están el trasplante de riñón y la diálisis (peritoneal y hemodiálisis), los cuales deben acompañarse de una dieta estricta, toma de medicamentos y restricción de líquidos (Barrios et al.,2004). En el primer caso existe la posibilidad de que el órgano trasplantado sea rechazado, por lo que el paciente debe tomar fármacos inmunosupresores [27].

La diálisis es un procedimiento artificial que permite extraer de la sangre del paciente sustancias nocivas o tóxicas para el organismo y también el agua acumulada en exceso. Existen 2 modalidades de diálisis: La hemodiálisis y la diálisis peritoneal [28].

Cada tipo de tratamiento tiene sus ventajas y desventajas. Esto incluye:

- Seguir su programación del tratamiento.
- Seguir una dieta especial.
- Tomar todos los medicamentos según las indicaciones [29].

Nefrólogo

Un nefrólogo es un médico subespecialista, que ha sido entrenado en el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades renales. Estas pueden estar relacionadas o asociadas con las funciones propias del riñón, entre las que se encuentran, la regulación de la presión arterial, el control de los electrolitos, el equilibrio de líquidos en el cuerpo, y la producción de algunas hormonas así también está en la capacidad de administrar tratamientos sustitutivos del riñón como las que la hemodiálisis, diálisis peritoneal y trasplante renal [30].

Hemodiálisis

La función principal de los riñones es eliminar toxinas y líquido extra de la sangre. Si los productos de desecho se acumulan en el cuerpo, puede ser peligroso y causar incluso la muerte. La hemodiálisis (y otros tipos de diálisis) cumple la función de los riñones cuando dejan de funcionar bien [31]. Los tratamientos suelen realizarse 3 veces por semana. Cada tratamiento dura entre 3 y 5 horas [29].

La insuficiencia renal es la última etapa de la enfermedad renal crónica. Esto es cuando los riñones ya no pueden atender las necesidades de su cuerpo por más tiempo [31].

En este tratamiento se extrae la sangre del paciente y se hace circular por un tubo hacia el filtro de diálisis. Este filtro está dividido en dos espacios por medio de una membrana semipermeable: por un lado, pasa la sangre y por el otro el líquido de diálisis (dializado). La membrana contiene poros que permiten el paso de sustancias de desecho y del agua desde la sangre hacia el líquido de diálisis, pero no permite el paso de otras sustancias.

La hemodiálisis puede:

- Eliminar la sal extra, el agua y los productos de desecho (para evitar la acumulación en su cuerpo)
- Mantener niveles seguros de vitaminas y minerales en su cuerpo.
- Ayudar a controlar la presión arterial.
- Ayudar a producir glóbulos rojos.

Durante la hemodiálisis, la sangre pasa a través de un tubo hasta un riñón artificial (filtro)

- El filtro, llamado dializador, se divide en 2 partes separadas por una pared delgada.
- A medida que la sangre pasa a través de una parte del filtro, un líquido especial en la otra parte extrae los residuos de la sangre.
- La sangre luego regresa al cuerpo a través de un tubo [28].

Diálisis peritoneal

En la diálisis peritoneal (DP), la sangre se limpia dentro del cuerpo, no afuera. La membrana interior del abdomen (el peritoneo) actúa como un filtro natural. Una solución limpiadora, llamada líquido dializado o dialisato, circula por el abdomen (el vientre) a través de un tubo blando llamado catéter para DP. El catéter para DP se coloca en una cirugía menor.

Los desechos y el líquido adicional pasan desde la sangre hacia la solución limpiadora.

Después de varias horas, se drena la solución utilizada del abdomen y se vuelve a llenar con solución limpiadora nueva para comenzar el proceso otra vez. Retirar la solución utilizada y agregar solución nueva lleva aproximadamente media hora y se llama “intercambio”. La diálisis peritoneal se puede hacer en el hogar, en el trabajo, en la escuela, o incluso durante un viaje. La diálisis peritoneal es un tratamiento en el hogar. Muchas personas que eligen la diálisis peritoneal sienten que pueden tener más flexibilidad e independencia [29].

Trasplante de riñón

Un trasplante de riñón es una operación que coloca un riñón saludable de otra persona en el cuerpo. El riñón puede ser de alguien que ha fallecido o de una persona viva que puede ser un pariente cercano, su cónyuge o un amigo. Incluso puede ser de una persona que desea donar un riñón a alguien que necesite un trasplante. El nuevo riñón se colocará en la parte baja del abdomen y se conectará con la vejiga y los vasos sanguíneos. Después del trasplante, necesitará tomar medicamentos especiales para evitar que el cuerpo rechace el nuevo riñón. Muchos pacientes prefieren un trasplante en vez de la diálisis porque les da más libertad, les permite tener una dieta menos restringida y pueden mejorar la calidad y el tiempo de vida [29].

3.3 Sistema embebido y componentes

Sistema embebido

Se trata de un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general (como por ejemplo una computadora personal o PC) que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (la tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora.

Los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos, pueden utilizarse lenguajes como C o C++; en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes como JAVA o Python [32].

Raspberry pi

Raspberry PI es una placa computadora (SBC) de bajo coste, es un ordenador de tamaño reducido, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI (Universidad de Cambridge) en 2011, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas. El concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico [33].

Python

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma [34].

NodeJS

Concebido como un entorno de ejecución de JavaScript orientado a eventos asíncronos, Node está diseñado para construir aplicaciones en red escalables. Node tiene un diseño similar y está influenciado por sistemas como Event Machine de Ruby ó Twisted de Python. Node lleva el modelo de eventos un poco más allá, este presenta un bucle de eventos como un entorno en vez de una librería [51].

DevExtreme

DevExtreme de DevExpress fue diseñado para crear aplicaciones web altamente sensibles para dispositivos táctiles y escritorios tradicionales. La suite se envía con más de 60 componentes de UI listos para usar con jQuery, Angular o Knockout. Con DevExtreme, ofrecerá soluciones empresariales de alto impacto que se ven y se comportan armoniosamente en cualquier navegador (de escritorio, móvil). DevExtreme incluye los siguientes widgets: Cuadrícula de datos, Tabla dinámica, Programación de calendarios, Visualización de gráficos y datos, Editores de datos, Navegación de aplicaciones y Widgets multipropósito [52].

Jade

Jade es un motor de plantillas de alto rendimiento muy influenciado por HAML, ha sido implementado con Javascript para trabajar con NodeJS. Adicionalmente es un pre-procesador de código HTML [53].

JavaScript

Es un lenguaje de programación, al igual que PHP, si bien tiene diferencias importantes con éste. **JavaScript** se utiliza principalmente del lado del cliente (es decir, se ejecuta en nuestro ordenador, no en el servidor) permitiendo crear efectos atractivos y dinámicos en las páginas web [54].

SolidWorks

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus

productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño [55].

Protocolo IIC (I²C)

I2C significa Circuito Integrado (Por sus siglas en Inglés Inter-Integrated Circuit) es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Phillips Semiconductors de la década de los 80s. Básicamente se creó para poder comunicar varios chips al mismo tiempo dentro de los televisores.

El protocolo I2C toma e integra lo mejor de los protocolos SPI y UART. Con el protocolo I2C podemos tener a varios dispositivos maestros controlando uno o múltiples dispositivos esclavos. Esto puede ser de gran ayuda cuando se van a utilizar varios microcontroladores para almacenar un registro de datos hacia una sola memoria o cuando se va a mostrar información en una sola pantalla.

El protocolo I2C utiliza sólo dos vías o cables de comunicación, así como también lo hace el protocolo UART [35].

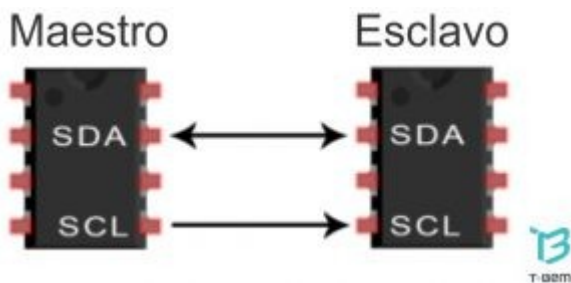


Ilustración 1 Protocolo I2C maestro-esclavo

SDA – Serial Data. Es la vía de comunicación entre el maestro y el esclavo para enviarse información.

SCL – Serial Clock. Es la vía por donde viaja la señal de reloj.

Este protocolo tiene el objetivo de comunicar el sensor OPT101 al ordenador Raspberry Pi 3.

Espectrometría

La espectroscopia surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda (λ). En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda, por ejemplo, por un prisma. Más tarde el concepto se amplió enormemente para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de la frecuencia. Por tanto, la espectroscopia puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante (ν). Una extensión adicional del alcance de la definición añadió la energía (E) como variable, al establecerse la relación para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro.

La espectrometría es la técnica espectroscópica para el índice de la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo. La espectrometría a menudo se usa en física y química analítica para la identificación de sustancias mediante el espectro emitido o absorbido por las mismas [36].

Irradiancia

La irradiancia es la energía del haz de luz por unidad de tiempo y de área (vatios por metro cuadrado $E/9^F$). Cuando una muestra absorbe luz, la irradiancia del haz de luz disminuye. La luz se hace pasar a través de un monocromador (prisma, red de difracción o incluso un filtro) para seleccionar una longitud de onda. La luz de una sola longitud de onda se llama monocromática, o sea, de un color. La luz monocromática, con una irradiancia G_H incide en una muestra de longitud b . La irradiancia de haz que emerge por el lado opuesto de la muestra es P . Como la muestra puede haber absorbido algo de luz, $G \leq G_H$ [50].

Transmitancia

La transmitancia, T se define como la fracción de la luz incidente que pasa a través de la muestra.

$$T = \frac{G}{G_H}$$

Por tanto, T puede valer de 0 a 1. El porcentaje de transmitancia es simplemente $100T$ y puede valer desde 0 a 100% [50].

Absorbancia

La absorbancia a veces también llamada densidad óptica. La absorbancia es importante porque es directamente proporcional a la concentración c , de la especie que absorbe la luz de la muestra [50]. La ecuación de *Ley de Beer*, es el fundamento de la espectrofotometría. La absorbancia se define como:

$$K = D_{7:1H} (T)$$

Relación entre transmitancia y absorbancia		
G/G_H	% T	A
1	100	0
0.1	10	1
0.01	1	2

Tabla 5 Relación entre transmitancia y absorbancia

Sensor (OPT101 Espectrofotómetro)

Para las lecturas de creatinina el sensor OPT101 es un fotodiodo monolítico con amplificador de transimpedancia en chip. La combinación integrada de fotodiodo y amplificador de transimpedancia en un solo chip elimina los problemas que comúnmente se encuentran en diseños discretos, como errores de corriente de fuga, captación de ruido y pico de ganancia como resultado de la capacitancia parásita. El voltaje de salida aumenta linealmente con la intensidad de la luz. El amplificador está diseñado para operación de suministro de energía simple o doble. El fotodiodo de 0,09 pulg × 0,09 pulg. (2,29 mm × 2,29 mm) funciona en modo fotoconductor para una excelente linealidad y baja corriente oscura.

El OPT101 funciona con suministros de 2.7 V a 36 V y la corriente de reposo es de solo 120 µA. Este dispositivo está disponible en plástico transparente PDIP de 8 pines y SOP de J-lead para montaje en superficie. El rango de temperatura es de 0 ° C a 70 ° C [37].

Los valores captados por el sensor OPT101 serán enviados a una Base de datos.

Aplicaciones del OPT101

- Instrumentación médica
- Instrumentación de laboratorio
- Sensores de posición y proximidad
- Analizadores fotográficos
- Escáneres de código de barras
- Detectores de humo
- Cambiadores de divisas

Base de datos

Un sistema gestor de bases de datos (SGBD) consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. La colección de datos, normalmente denominada base de datos contiene información relevante para una empresa. El objetivo principal de un SGBD es proporcionar una forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos de manera que sea tanto práctica como eficiente. Los sistemas de bases de datos se diseñan para gestionar grandes cantidades de información. La gestión de los datos implica tanto la definición de estructuras para almacenar la información como la provisión de mecanismos para la manipulación de la información. Además, los sistemas de bases de datos deben proporcionar la fiabilidad de la información almacenada, a pesar de las caídas del sistema o los intentos de acceso sin autorización [38].

Centrifugadora

La muestra de suero es obtenida a partir de sangre completa, la cual es separada en sus diversos componentes mediante un proceso de centrifugación, dicho proceso es dividido en tres etapas principales: pre-centrifugación, centrifugación y post-centrifugación. Para poder llevar a cabo la etapa de centrifugación debe haber finalizado el proceso de coagulación de la sangre. Es muy importante asegurarse de que la muestra de sangre ha coagulado completamente antes de ser centrifugada. La centrifugadora es un aparato que aplica una fuerza centrífuga sostenida (esto es, una fuerza producida por rotación) para impeler la materia hacia afuera del centro de rotación.

Este principio se utiliza para separar partículas en un medio líquido por sedimentación. Es una máquina que se utiliza, sobre todo, para la separación de mezclas heterogéneas líquido-sólidas y de mezclas líquidas como son los líquidos insolubles entre sí con distintos pesos específicos [39].

La velocidad y el tiempo de centrifugación son los elementos clave en la separación de los componentes, variables según la marca de la centrífuga y de la posición del cabezal. La velocidad va a depender de la estabilidad y de la adecuada fuerza eléctrica, así como de las condiciones del equipo, siendo necesario controlar periódicamente su funcionamiento para obtener excelente rendimiento. Recordando siempre que cuando la centrífuga está funcionando a altas velocidades, el cabezal y las copas desarrollan una fuerza de gravedad de miles de libras. Debido a ello es importante que las copas tengan igual peso, de lo contrario la máquina se desajusta, se daña, vibra y la separación de los componentes será pobre por el inadecuado balanceo. El balanceo y equilibrio del se puede hacer fácilmente mediante discos de goma o lastre (material no punzocortante) de distintos pesos. No debe utilizarse agua, municiones ni otros materiales rígidos que puedan romper la bolsa. Por otro lado, tanto el agua como dichos materiales se desplazan durante la aceleración y desaceleración produciendo suspensión de las células, por eso, no es conveniente centrifugar sangre y colocar como contrapeso bolsas de plástico conteniendo agua. Las aberturas y tubos unidos a la bolsa se deben proteger contra roturas. Por tanto, se deben aplicar las instrucciones que acompañan a cada equipo para obtener un máximo rendimiento y durabilidad y controlar periódicamente su funcionamiento [40].

Impresión 3D

La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital. Todos los procesos de impresión 3D requieren que el software, el hardware y los materiales trabajen en conjunto. La tecnología de impresión 3D puede utilizarse para crear todo tipo de cosas, desde prototipos y piezas simples hasta productos finales altamente técnicos, como piezas para aeronaves, edificios ecológicos, implantes médicos que pueden salvar vidas e incluso órganos artificiales que se producen con capas de células humanas [48].

Ácido poli-láctico (PLA)

El PLA es un biopolímero termoplástico lo que quiere decir que es posible volver a fundirlo aplicándole calor, es un material computable lo que significa que se degrada por acción microbológica en un periodo corto de tiempo sin dejar residuos, además posee una toxicidad baja [4]. En la siguiente ilustración se muestra un carrete con filamento de PLA.



Ilustración 2 Filamento de PLA

La temperatura de fusión “ T_m ” y la temperatura T_g de transición vítrea “ T_g ” del PLA, varía según el porcentaje de dichos monómeros

Composición del polímero	Temperatura de transición vítrea (T_g) (°C)	Temperatura de fusión (T_m) (°C)
100/0 (L/D, L)-PLA	63	178
95/5 (L/D, L)-PLA	59	164
90/10 (L/D, L)-PLA	56	150
85/15 (L/D, L)-PLA	56	140
80/20 (L/D, L)-PLA	56	125

Tabla 6 PLA Temp. de fusión y Temp. de transición

Capítulo IV: Marco Metodológico

4.1 Metodología V

El sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre propuesto en este proyecto va a utilizar la metodología V. La herramienta generada abarca aspectos tanto de Software (SW) como de Hardware (HW), porque pretende dar solución a problemas reales donde resulta ineludible la interacción de ambos.

La letra “V” significa <<Verificación y Validación>>

El lado izquierdo de la V: representa la descomposición de las necesidades, y la creación de las especificaciones del sistema.

El lado derecho de la V: representa la integración de las piezas y su verificación.

La metodología V es muy similar al modelo de cascada clásico ya que es muy rígido y contiene una gran cantidad de iteraciones [41].

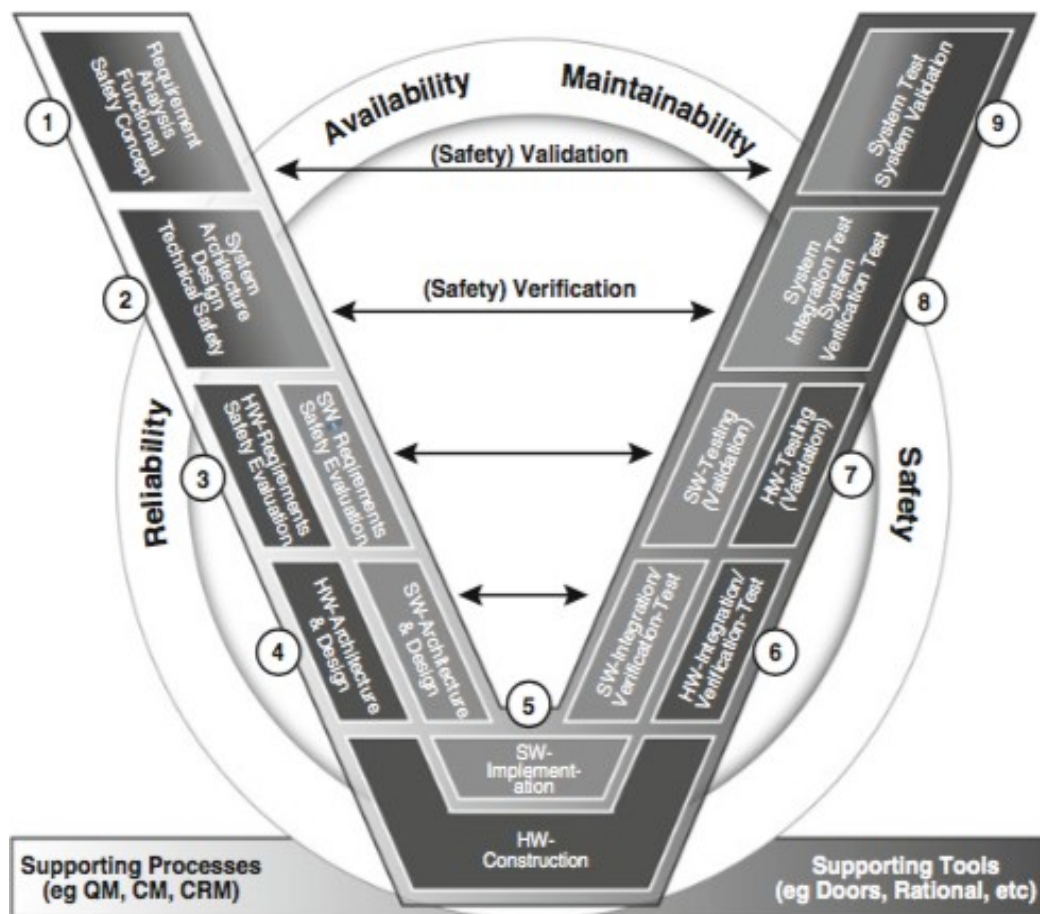


Ilustración 3 Metodología V

4.2 Ciclo de vida de la metodología V

1. “Requirements Analysis & Functional Safety Concept”

- Los requerimientos del cliente se analizan, se obtienen y se refinan. Las funciones del sistema son resaltadas. Paralelamente a este enfoque, se lleva a cabo un primer nivel de análisis de seguridad [42].

En la primera etapa de la metodología V, se definirán los requisitos y especificaciones del sistema. En esta etapa se llevará un largo proceso de investigación y de consultas con especialistas en el tema para la retroalimentación de conceptos generales de los problemas renales que existen hoy en día, con ello se pretenderá dar una solución óptima para el paciente con insuficiencia renal.

2. “System Architecture Design & Technical Safety Concept”

- El diseño de la arquitectura del sistema es una de las fases más importantes en el diseño del sistema. Consiste en diferentes pasos, como refinar las funciones del sistema y asignarlas a diferentes componentes del sistema que pueden ser físicos o de software [42].

Se analizarán los conceptos definidos por parte del nefrólogo y de asesores para la construcción del sistema embebido. En esta parte se llevará a cabo los siguientes puntos:

- ❖ Definiciones y características del sistema.
- ❖ Definir las interfaces de comunicación y la funcionalidad del sistema.
- ❖ Definición de los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema.
- ❖ Descripción de una interfaz gráfica de usuario.

3. “SW & HW Requirements Safety Evaluation”

- En esta fase del desarrollo, se detallan los requerimientos de hardware y software del sistema. Los requerimientos son textuales o modelos. En esta etapa, los proveedores aparecen en el proceso de desarrollo tomando como insumo estos requerimientos de software y hardware para diseñar las partes del sistema de las que son responsables. Paralelamente a esta fase de especificación de refinamiento, las actividades de seguridad se profundizan a través de la evaluación de seguridad del sistema. Los requerimientos del sistema, en algunos casos, son especificados en lenguajes formales, las prácticas actuales muestran que la gran mayoría de ellos siguen siendo informales y

basados en el lenguaje natural. La fase puede incluir actividades de validación limitadas que se basan, en la mayoría de los casos, en simulación. Las técnicas de análisis estático son aplicables, especialmente para verificar las propiedades de seguridad. Estas validaciones, aunque sean limitadas, permiten la detección de errores potenciales antes de que se produzca el producto final, lo que reduce el costo y el tiempo de desarrollo [42].

En este punto se definirán los requerimientos del sistema embebido; al mismo tiempo se realizará la documentación necesaria para especificar las actividades de los propios requerimientos solicitados.

4. “SW & HW Architecture & Design”

- En esta fase del desarrollo, se diseñan tanto el hardware como el software los componentes del sistema global. Las actividades que se realizan son similares a las realizadas en la fase de arquitectura del sistema, pero se centran en un componente específico del sistema:
 - Revisión de los requisitos, de hardware y software, funcionales y no funcionales, incluidos los requerimientos derivados.
 - Asignación de funciones de software sobre los componentes de hardware [42].

En la etapa de diseño se destacan varios factores para visualizar el contexto del proyecto. Estos factores nos van a permitir llevar a cabo el proyecto desde una perspectiva visual, matemática y química, con ello se podrán detectar a tiempo errores en la proyección del sistema. Se diseñarán diferentes actividades para concretar esta etapa, tales como:

- ❖ Casos de uso
- ❖ Modelo de componentes
- ❖ Modelo de datos
- ❖ Diagrama de Actividades
- ❖ Diagrama de Estados
- ❖ Diagrama de Clases
- ❖ Esquema general de los componentes
- ❖ Diagramas de flujo
- ❖ Selección del espectrofotómetro
- ❖ Simulaciones de los componentes eléctricos.

5. “SW Implementation & HW Construction”

- Una vez diseñados todos los componentes de los equipos, los elementos de hardware se desarrollan y montan físicamente, los módulos de software se implementan en paralelo y finalmente se integran con el hardware. Al final de este paso, los elementos de software y hardware deben estar disponibles para las actividades de verificación. Algunas pruebas unitarias pueden realizarse en paralelo con la implementación, especialmente para el software. En algunos casos, cuando el software es generado por un generador de códigos automáticos calificado, las pruebas unitarias pueden ser suprimidas [42].
- La rama derecha del modelo V incluye principalmente actividades relacionadas con la integración, verificación y validación. La integración se realiza en varios niveles (SW, HW, Sistema). Las actividades de V & V se basan principalmente en pruebas, cuando el producto o una parte del producto a verificar esté disponible. Se pueden usar sofisticados bancos de pruebas, dependiendo de los tipos de pruebas se ejecutarán y en la etapa de esa verificación se llevarán a cabo [42].

En esta etapa se construirá el sistema embebido en base de la arquitectura y diseño del software y hardware.

Para la construcción del software se realizarán las siguientes actividades:

- ✓ Sistema Web.
- ✓ Base de datos.
- ✓ Interfaces de comunicación software y hardware.
- ✓ Programación del espectrofotómetro.
- ✓ Programación de los componentes eléctricos.

Para la construcción del hardware se llevará a la par con la parte química, que son los reactivos e instrumentos de laboratorio; para concretar la construcción del hardware se realizarán las siguientes actividades:

- ✓ Construcción de la centrifugadora.
- ✓ Construcción del espectrofotómetro.
- ✓ Construcción de la incubadora a 37 grados.
- ✓ Construcción del sistema semi-automático.

Nota: Para la contratación del hardware se deberán de pedir los materiales con 1 mes de anticipación.

6. “SW & HW Integration/Verification Test”

- En esta etapa, se ensamblan los componentes de hardware y software. Las pruebas de verificación se ejecutan para comprobar el cumplimiento de los objetivos de diseño. Estas tareas se basan principalmente en revisiones y análisis que realizan los proveedores de los componentes [42].

Se integran los componentes correspondientes a cada módulo de software y hardware para corroborar con los objetivos principales del:

- ✓ Diseño
- ✓ Arquitectura
- ✓ Requerimientos del sistema.

En este punto también se llevará a cabo la calibración de los componentes tales como: sensor OPT101, centrifugadora, Raspberry pi 3, base de datos, entre otros. Asimismo, garantizar que el sistema embebido cumpla con las normativas de salud y seguridad.

7. “SW & HW Testing”

- En este paso, se realizan pruebas funcionales contra los componentes de hardware y software que ya han sido verificados con el diseño y pasaron a un primer nivel de integración. Las pruebas tienen como objetivo garantizar que los componentes de software y hardware cumplan con los requerimientos de software y hardware. Por lo general, dependen de sofisticados bancos de pruebas que proporcionan una buena aproximación al entorno funcional del sistema [42].

Se realizarán pruebas por cada módulo del sistema dividido por el software y hardware; con el objetivo de verificar que se cumplan las especificaciones y requerimientos del sistema.

- ✓ Software: verificar que efectivamente se esté implementando el lenguaje de programación correcto para que la aplicación funcione.
- ✓ Hardware: verificar que efectivamente funcionen todos los componentes electrónicos para que funcione correctamente el sistema.

Al finalizar las pruebas de todos los módulos se unirán los componentes en uno solo sistema (Sistema embebido).

8. “System Integration and System Verification Test”

- En este paso, los diversos elementos del sistema (SW, HW) se combinan y se lleva a cabo la verificación con los requerimientos funcionales y no funcionales a nivel del sistema. Las actividades de prueba de integración son realizadas por el integrador del sistema con el soporte de los proveedores, en bancos de prueba que son representativos del entorno real del sistema [42].

Después de integrar todos los módulos de Software y Hardware se realizará la última prueba, donde se validará que el sistema no presente fallas. Se verificará que se hayan atendido todos los requerimientos, tanto funcionales como no funcionales.

9. “System Test and System Validation”

- Esta fase final de verificación consiste en verificar que el sistema cumpla con sus requerimientos funcionales y no funcionales en su entorno operativo. En general, esta fase se denomina de validación del producto porque garantiza que se haya construido el producto correcto [42].

En esta última fase no se llevará a cabo por la complicación de que se debe de poner en un entorno real (hospital o clínica) por lo tanto, no se cuenta con el tiempo ni el apoyo de instituciones de salud para poner a prueba nuestro sistema y validar el último punto de la metodología V.

4.3 UML

En la tabla 7.1 se muestra la descripción de cada diagrama UML que se realizó en el proyecto, con la finalidad de que el lector conozca del entorno de los diagramas UML.

Casos de uso	<p>Es una descripción de los pasos o las actividades que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso. Los personajes o entidades que participarán en un caso de uso se denominan actores.</p> <p>En el sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis, se utilizan para describir las interacciones que se desarrollarán entre el sistema y los actores (médicos, pacientes enfermeros) en respuesta a un evento que inicia un actor principal sobre el propio sistema [43].</p>
Diagramas de actividades	<p>Un diagrama de Actividad demuestra la serie de actividades que deben ser realizadas en un uso-caso, así como las distintas rutas que pueden irse desencadenando en el uso-caso.</p> <p>Es importante recalcar que, aunque un diagrama de actividad es muy similar en definición a un diagrama de flujo (típicamente asociado en el diseño de Software), estos no son lo mismo. Un diagrama de actividad es utilizado en conjunción de un diagrama uso-caso para auxiliar a los miembros del equipo de desarrollo a entender como es utilizado el sistema y cómo reacciona en determinados eventos.</p> <p>En el sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis se utilizan</p>

para mostrar y explicar la manera en que el usuario tiene una comunicación con el sistema y como éste se encarga de procesar las peticiones deseadas [44].

Diagramas de clases

Representa los propósitos fundamentales de UML porque separa los elementos de diseño de la codificación del sistema. UML ha sido establecido como un modelo estandarizado para describir un enfoque de programación orientado a objetos. Dado que las clases son el bloque de construcción de los objetos, los diagramas de clase son los bloques de construcción de UML.

En el sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis, se utilizan los diagramas de clases para definir los diferentes controladores que se encargan de procesar la información entre las vistas de la aplicación web y el “back” del sistema. Se utiliza, también, para la representación de la conexión con la base de datos y de cómo se relaciona con los controladores [45].

Diagrama Entidad Relación

Un diagrama entidad-relación, también conocido como modelo entidad relación o ERD, es un tipo de diagrama de flujo que ilustra cómo las "entidades", como personas, objetos o conceptos, se relacionan entre sí dentro de un sistema. Los diagramas ER se usan a menudo para diseñar o depurar bases de datos relacionales en los campos de ingeniería de software, sistemas de información empresarial, educación e investigación.

En el sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis, utilizamos el

	<p>diagrama ER como una representación de la base de datos y de cómo se mantendrán los registros de los actores que contendrá nuestro sistema [46].</p>
Diagrama de componentes	<p>Un diagrama de componentes permite visualizar la estructura de alto nivel del sistema y el comportamiento del servicio que estos componentes proporcionan y usan a través de interfaces.</p> <p>En el sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post tratamiento de hemodiálisis, se utiliza para mostrar la comunicación y estructura que se tiene en los diferentes comportamientos y necesidades para lograr la realización del trabajo [47].</p>

Tabla 7 Descripción de los tipos de UML

Capítulo V: Análisis y Discusión de los Resultados

En este capítulo se habla de los resultados obtenidos dentro de la etapa de investigación, análisis, diseño, implementación, integración y validación de los módulos que componen el sistema que son hardware, software y química. Dentro del área de software se desarrollaron diferentes documentos, diagramas y vistas del sistema, que en conjunción se pudo concretar el sistema web y la fluidez de información entre hardware y software. Dentro de trabajo terminal 1 y 2 se pudo concretar los siguientes módulos de software:

- Casos de Uso.
- Diagrama de Actividades.
- Diagramas de Clases.
- Modelo de Componentes.
- Prototipos No Funcionales.
- Plan de Pruebas Software.
- Sistema Web
- Comunicación Hardware y Software
- Requerimientos Funcionales.
- Modelo de Datos.
- SRS.
- Manual Técnico.
- Manual de Usuario.

Esto con el fin de poder construir los escenarios que van a existir dentro del sistema. Así mismo, el modelo de datos sirvió para identificar los datos necesarios del sistema y de cómo se estructurarán al momento de guardarlos.

Dentro del área de hardware, se describe el cómo se utilizaron las herramientas que permiten la construcción de los diagramas de los circuitos y modelos en 3D necesarios para el diseño de los módulos de hardware obligatorios para el proyecto. Así como también de un manual de usuario hardware para que el usuario final conozca las funcionalidades del sistema y cómo debe ser operado. Además, dentro del apartado de hardware, se logró construir una centrifugadora, incubadora y un espectrofotómetro; y en cada apartado se visualizará las ecuaciones y materiales adecuados para los diferentes módulos.

Debido a la incorporación del área química en el proyecto; se ve en la necesidad del diseño y construcción de pruebas químicas en cuanto a los compuestos que serán necesarios para aprobar el funcionamiento del espectrofotómetro, incubadora y centrifugadora, con la finalidad de verificar su funcionamiento eficaz y eficiente.

Descripción del Sistema Propuesto

En este proyecto se desarrolla un sistema embebido que permitirá realizar mediciones del nivel de la creatinina en la sangre en pacientes durante las sesiones de hemodiálisis, tanto al inicio, como al final de la sesión. De esta manera se podrá monitorear los valores correspondientes de la creatinina y determinar los valores de filtrado glomerular, a su vez dichos valores serán establecidos en una base de datos, en correlación con las medidas antropométricas, edad y sexo que permitirá llevar el control sobre el registro de las variables importantes de los pacientes en tratamiento de hemodiálisis.

Se construyó un sistema para el análisis de la sangre, donde se contemplará una centrifugadora que se encargará de separar la plasma de la sangre, una incubadora en la que calentará la muestra a 37°C y al momento de introducir la muestra a un contacto químico, se podrá obtener los valores de creatinina. Por medio del sensor OPT101 mandara valores en escalas de Visible (nanómetros), dichos valores serán enviados a un dispositivo “Raspberry Pi 3” este se encargará de guardarlos a una base de datos donde la aplicación web se encargará de estructurarlos para cada paciente y que estén al acceso inmediato de su médico.

MODELO DE COMPONENTES

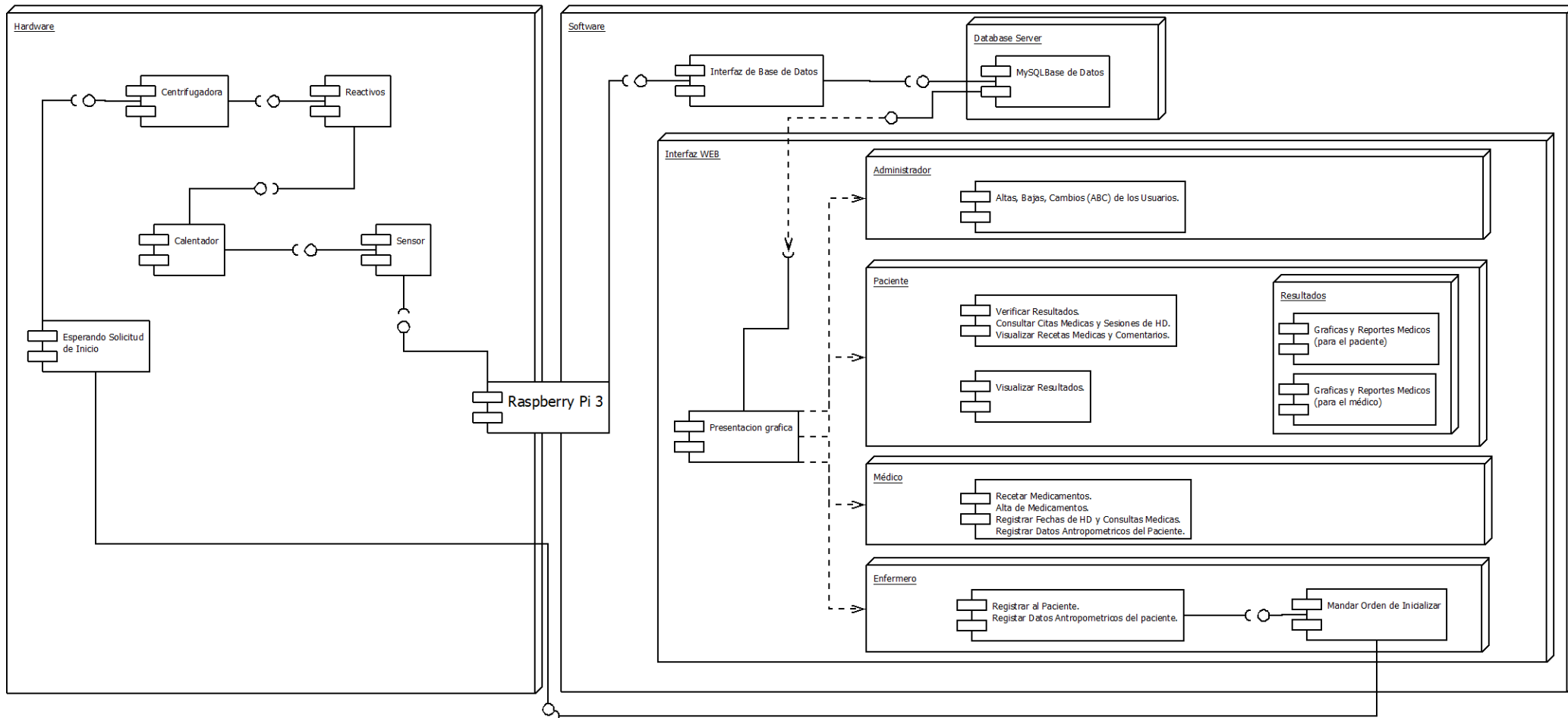


Ilustración 4 Modelo de componentes

5.1 Software

5.1.1 Requerimientos Funcionales y No Funcionales

Requisitos Funcionales		
Requerimiento Funcional	Nombre	Descripción
RF_01	Manual Técnico y Manual de Usuario	Tiene como objetivo de que los usuarios aprendan y conozcan las funcionalidades del sistema y informar cómo se aplican los reactivos, que tipo de reactivos, que marca utilizar y como implantarlos.
Hardware		
RF_02	Centrifugar la sangre	Separar la plasma de la sangre con ayuda de una centrifugadora.
RF_03	Analizar muestra con el sensor	Debe de analizar y ser capaz de identificar la cromaticidad y tonalidad de las muestras químicas.
RF_04	Análisis en la Raspberry Pi	Implementar fórmulas matemáticas para la obtención de la creatinina y como función principal enviar los datos a la base de datos.
RF_05	Sistema completo	Descripción de todo el sistema completo, como se comporta, cuáles son los materiales, entre otros.

RF_06	Regulaciones de temperatura	El sistema está diseñado para soportar altas temperaturas. El dispositivo soporta temperaturas de 50° grados centígrados.
Software		
RF_07	Autenticación de usuarios	Los usuarios finales deben de autenticarse en la aplicación web.
RF_08	Consultar información	Los usuarios finales podrán consultar información relevante de acuerdo con el perfil de cada usuario.
RF_09	Capturar información del paciente	El personal de salud podrá capturar los datos esenciales del paciente.
RF_10	Registros de usuarios	Cada tipo de usuario se podrá registrar en el sistema.
RF_11	Modificar información de usuarios	Cada tipo de usuario podrá modificar sus datos personales.
RF_12	Gestionar reportes y graficas	El sistema es capaz de generar sus

		propios reportes y graficas en base del número de pruebas realizadas.
RF_13	Recetas	El sistema contendrá un apartado donde se podrá generar una receta médica.
RF_14	Alta de medicamentos	El médico a cargo podrá dar de alta nuevos medicamentos.
Requisitos No Funcionales		
Requerimiento No Funcional	Nombre	Descripción
RNF_01	Idioma español	Todo el material que se realice para los usuarios finales debe de estar en lenguaje español.
RNF_02	Reportes en PDF	Los reportes generados deben de estar en formato PDF, para mayor comodidad del usuario.
RNF_03	Vista de la aplicación Web	Los colores de la aplicación deben de ser cálidos, no oscuros y conseguir ser agradables para el usuario.
RNF_04	Persistencia de los datos	Se asegura persistencia de los datos en caso de que no exista una conexión a internet.
RNF_05	Calibración del sensor	Dentro del dispositivo se asegura una calibración del sensor antes de que se realice una prueba.
RNF_06	Extracción de componentes del dispositivo	Se asegura la fácil extracción de componentes que deben de ser desechados.

Tabla 8 Requisitos funcionales y no funcionales

Los requerimientos funcionales y no funcionales son parte del documento SRS, que se encuentra en el capítulo de apéndices (Apéndice 8.1).

5.1.2 Casos de uso

Casos de Uso		
Requerimiento Funcional	Nombre	Descripción
CU_01	Iniciar sesión	El usuario final puede acceder al sistema, mediante un usuario y una contraseña.
CU_02	Alta de un paciente	El medico es el encargado de dar de alta un nuevo paciente. Deberá de introducir en un formulario los datos generales y médicos del paciente.
CU_03	Alta de un enfermero	El enfermero se debe de registrar en el sistema, introduciendo los campos solicitados.
CU_04	Alta de un médico	El médico se debe de registrar en el sistema, introduciendo los campos solicitados.
CU_05	Consultar información general de un usuario por parte de un administrador	El administrador podrá consultar la información de cada tipo de usuario. Con la finalidad de ver disponibilidad o modificar algún usuario. El administrador no podrá consultar información médica ni datos personales.
CU_06	El paciente consulta su información	El paciente al acceder al sistema podrá visualizar su información médica y datos generales. Además de checar sus gráficas y reportes.
CU_07	Médico consulta la información del paciente	El médico podrá visualizar en diferentes pestanas, los datos generales del paciente, datos clínicos y antropométricos, medicamentos, graficas, citas, etc.
CU_08	Médico y Enfermero consulta su información personal	El médico y el enfermero podrá consultar su información personal y de igual manera modificarlos.
CU_09	El administrador elimina un usuario	El administrador tiene la función de eliminar un usuario.
CU_10	El administrador modifica datos de un usuario.	El administrador tiene la función de modificar algún dato de un usuario.
CU_11	El enfermero captura información del paciente	El enfermero tiene la función de registrar al paciente en la sesión de hemodiálisis.
CU_12	El médico captura información del paciente	El médico tiene la función de registrar datos del paciente en las horas de consulta médica.

CU_13	Modifica datos personales del paciente	El paciente podrá modificar sus datos personales y de igual manera su contacto de emergencia.
CU_14	El médico modifica sus citas	El médico podrá mover o modificar sus citas.
CU_15	El médico podrá modificar sus recomendaciones	El médico podrá modificar las recomendaciones que le indique al paciente.
CU_16	Alta de medicamentos	El médico podrá dar de alta sus propios medicamentos al sistema.
CU_17	Descarga de receta médica	El paciente como el médico podrán descargar las recetas médicas.
CU_18	Descarga de reportes generados por el sistema	El paciente como el médico podrán descargar los reportes que le genere el propio sistema sobre sus niveles de creatinina.
CU_19	Visualizar graficas (Paciente)	El paciente podrá visualizar el comportamiento con los datos sugeridos por el sistema.
CU_20	Visualizar graficas (Médico)	El médico podrá visualizar el comportamiento del paciente, con los datos más relevantes para el médico.

Tabla 9 Casos de uso

Para acceder a cada caso de uso, podrá consultarlo en el apéndice (Apéndice 8.2).

5.1.3 Modelo de datos

En el apartado de modelo de datos se describirán tres modelos esenciales en nuestro sistema, tales como: modelo relacional y un diccionario de datos. Se modificaron algunas tablas para su uso correcto en el sistema WEB, de manera que funcione de la manera mas optima y eficaz.

5.1.3.1 Relacional

Se utilizo el programa de MySQLWorkBench para la generación de la base de datos relacional. Anteriormente se realizó la base de datos entidad-relación, donde comprendía todo el diseño de la base de datos.

Con un total de 26 tablas, se añadieron las tablas y elementos necesarios para la organización y comprensión de la base de datos del sistema de medición y monitoreo de creatinina en la sangre pre y post hemodiálisis.

A continuación, se muestra la base de datos relacional (Ilustración 5 Modelo Relacional).

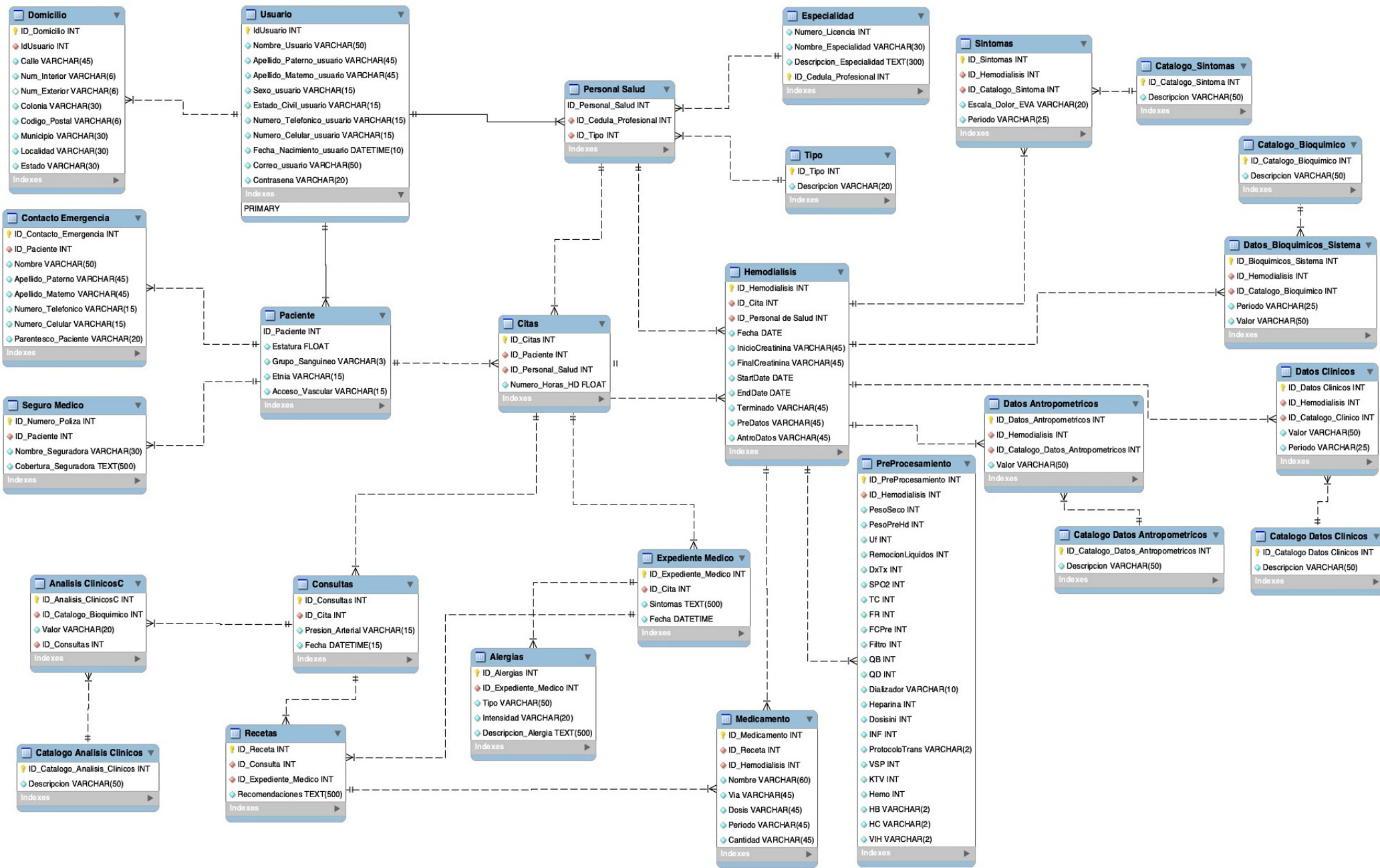


Ilustración 5 Modelo Relacional

5.1.3.2 Diccionario de Datos

Diccionario de Datos "Sistema Creatinina"

Usuario

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Usuario</u>	Contiene a todos los usuarios que tienen acceso al sistema.	ID_usuario	Int	15	Primary Key Not null	Identificador del usuario.
		Nombre_usuario	VarChar	50	NN	El nombre del usuario.
		Apellido_Paterno_usuario	VarChar	45	NN	El apellido paterno del usuario.
		Apellido_Materno_usuario	VarChar	45	NN	El apellido materno del usuario.
		Sexo_usuario	VarChar	15	NN	Seleccionar el sexo del usuario.
		Estado_Civil_usuario	VarChar	15	NN	Seleccionar cual es el estado civil del usuario.
		Numero_Telefonico_usuario	VarChar	15	NN	El número telefónico del usuario.
		Numero_Celular_usuario	VarChar	15	NN	El número de celular del usuario.
		Fecha_Nacimiento_usuario	DateTime	14	NN	Fecha de nacimiento del usuario.
		Correo_usuario	VarChar	50	NN	Correo electrónico del usuario.
		Contraseña_usuario	VarChar	20	NN	Contraseña del usuario.

Domicilio

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Domicilio</u>	Contiene que los datos generales del domicilio de cada usuario	ID_domicilio	Int	15	Primary Key Not null	Identificador del domicilio.
		ID_usuario	Int	15	FK	Identificador de usuario.
		Calle	VarChar	30	NN	Nombre de la calle del usuario
		Num_Interior	VarChar	6	NN	Numero interior
		Num_Exterior	VarChar	6	NULL	Numero exterior
		Colonia	VarChar	30	NN	Nombre de la colonia del usuario.

		Codigo_Postal	VarChar	6	NN	Numero de código postal del usuario.
		Municipio	VarChar	30	NN	Nombre del municipio del usuario.
		Localidad	VarChar	30	NULL	Nombre de la localidad del usuario.
		Estado	VarChar	30	NN	Nombre del estado del usuario.

Paciente

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Paciente</u>	Contiene que los datos esenciales del Paciente	ID_Paciente	Int	15	Primary Key Not null	Identificador de Paciente.
		Estatura	Float	4	NN	Medición de estatura del paciente (formato en metros).
		Grupo Sanguíneo	VarChar	3	NN	Mencionar el grupo sanguíneo que pertenece el paciente.
		Etnia	VarChar	15	NN	Etnia racial del paciente.
		Acceso_Vascular	VarChar	15	NN	Acceso vascular del paciente.
<u>Contacto De Emergencia</u>	Dentro de la entidad Paciente se tiene un solo contacto de emergencia, en caso de no localizar al paciente se intente localizar por su contacto de emergencia.	ID_ContactoEmergencia	Int	5	Primary Key Not null	Identificador del contacto de emergencia.
		ID_Paciente	Int	15	FK	Identificador del paciente.
		Numero_Telefonico	VarChar	15	NN	El número telefónico del contacto de emergencia.
		Numero_Celular	VarChar	15	NN	El número de celular del contacto de emergencia.
		Nombre	VarChar	50	NN	El nombre del contacto de emergencia.
		Apellido_Paterno	VarChar	45	NN	El apellido paterno del contacto de emergencia.
		Apellido_Materno	VarChar	45	NN	El apellido materno del contacto de emergencia.
		Parentesco_Paciente	VarChar	20	NN	Parentesco del contacto de emergencia.

<u>Seguro_Medico</u>	El paciente puede tener uno o varios seguros médicos.	Numero_Poliza	Int	15	Primary Key Not null	Identificador de la póliza de seguro del paciente.
		ID_Paciente	Int	15	FK	Identificador del paciente.
		Nombre_Seguradora	VarChar	30	NN	Nombre de la aseguradora, del seguro médico.
		Cobertura_Seguradora	Text	500	NN	Describir cual es la cobertura del seguro médico.

Personal de Salud

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Personal de Salud</u>	Contiene los identificadores necesarios para generar el personal de salud.	ID_PersonalSalud	Int	15	Primary Key NN	Identificador del personal de salud.
		ID_Cedula_Profesional	Int	15	FK	Identificador de la especialidad.
		ID_Tipo	Int	15	FK	Identificador del tipo del personal de salud.

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Especialidad</u>	Contiene lo datos del personal de salud, haciendo referencia a su especialidad.	Numero_Licencia	Int	15	NN	Numero de licencia del médico.
		ID_Cedula_Profesional	Int	15	Primary Key NN	Cedula profesional del médico.
		Nombre_Especialidad	VarChar	30	NN	Nombre de la especialidad del médico.
		Descripcion_Especialidad	Text	300	NN	Descripción de la especialidad del médico.

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Tipo</u>	Contiene la descripción del tipo de personal médico, si es médico o enfermero.	ID_Tipo	Int	15	Primary Key NN	Identificador del tipo de personal de salud.
		Descripcion	VarChar	20	NN	Descripcion del tipo de personal de salud.

Citas

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Citas</u>	Tanto el paciente como el medico tienen citas. Las citas se dividen en dos, citas de hemodiálisis y citas de consultas médicas.	Id_Cita	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la cita.
		ID_Paciente	Int	15	FK	Identificador del paciente.
		ID_PersonalSalud	Int	15	FK	Identificador de médico.
		Numero_Horas_HD	Float	5	NN	Número de horas de hemodiálisis.

Consultas

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Consultas</u>	Consulta médica.	Id_Consulta	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la consulta.
		ID_Cita	Int	15	FK	Identificador de la cita.
		Presion_Arterial	VarChar	15	NN	Presión Arterial del paciente, expresada en mm de Hg.
		Fecha	DateTime	15	NN	Fecha de la consulta médica.

Análisis Clínicos

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Análisis Clínicos</u>	Dentro de la consulta, el paciente debe de tener a la mano sus análisis de química sanguínea.	Id_Analisis_Clinicos	Int	15	Primary Key NN	Identificador de análisis clínicos.
		ID_Catalogo_Bioquimico	Int	15	FK	Identificador del nombre de estudio bioquímico.
		ID_Consultas	Int	15	FK	Identificador de la consulta
		Valor	VarChar	20	NN	Valor del elemento de estudio.

Recetas

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Recetas</u>	Dentro de la consulta se tiene las recetas médicas emitidas por el médico.	Id_Receta	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la receta médica.
		ID_Consulta	Int	15	FK	Identificador de la consulta.
		ID_Expediente_Medico	Int	15	FK	Identificador del expediente médico.
		Recomendaciones	Text	500	NN	Recomendaciones sugeridas, de la alimentación del paciente.

Medicamento

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Medicamento</u>	Las citas tienen su propia entidad de medicamento y de igual manera las recetas médicas.	Id_Medicamento	Int	15	Primary Key NN	Identificador del medicamento.
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		Id_Receta	Int	15	FK	Identificador de la receta médica.
		Nombre_Medicamento	VarChar	60	NN	Nombre genérico del medicamento.
		Via_Medicamento	VarChar	45	NN	Vía del medicamento.
		Dosis_Medicamento	VarChar	45	NN	Dosis del medicamento.
		Periodo_Medicamento	VarChar	45	NN	Periodo del medicamento.
		Cantidad_Medicamento	VarChar	45	NN	Cantidad del medicamento.

Expediente Medico

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Expediente Medico</u>	Expediente médico del paciente.	ID_ExpedienteMedico	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la receta médica.
		ID_Cita	Int	15	FK	Identificador de la cita.
		Fecha	Date	6	NN	Fecha del expediente médico.
		Síntomas	Text	500	NN	Síntomas que presente el paciente.

Alergias

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Alergias</u>	El paciente puede tener varias alergias.	ID_Alergias	Int	15	Primary Key Not null	Identificador de la alergia.
		ID_Expediente_Medico	Int	15	FK	Identificador del expediente médico.
		Tipo_alergia	VarChar	50	NN	Nombre de la alergia.
		Descripcion_alergia	Text	500	NN	Describir en que parte del cuerpo causa la alergia, cuanto tiempo dura, causas y consecuencias de la alergia, etc.
		Intensidad_alergia	VarChar	20	NN	Describir de la intensidad de la alergia: leves, intermedios o intensos.

Hemodiálisis

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Hemodiálisis</u>	Sesión de hemodiálisis.	ID_Hemodialisis	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		ID_Cita	Int	15	FK	Identificador de la cita.
		ID_PersonalSalud	Int	15	FK	Identificador del personal de salud.
		Hora_Inicio	Time	6	NN	Hora de inicio de la sesión de hemodiálisis.
		Hora_Fin	Time	6	NN	Hora de fin de la sesión de hemodiálisis.

Fecha	Date	6	NN	Fecha de la sesión de hemodiálisis.
StartDate	Date	6	NN	Empieza fecha
EndDate	Date	6	NN	Termina fecha
Terminado	VarChar	45	NN	Termina
PreDatos	VarChar	45	NN	Carga de datos
AntroDatos	VarChar	45	NN	Fin de datos
InicioCreatinina	VarChar	45	NN	Pre-creatinina
FinalCreatinina	Varchar	45	NN	Post-Creatinina

Síntomas

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Síntomas</u>	Síntomas que presente el paciente durante la sesión de hemodiálisis.	ID_Sintoma	Int	15	Primary Key NN	Identificador del síntoma que presente.
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		ID_Catalogo_Sintoma	Int	15	FK	Identificador del catálogo de síntomas.
		Periodo	VarChar	45	NN	Periodo (Pre, Post, Trans) Hemodiálisis.
		Escala_Dolor	VarChar	2	NN	Escala de dolor (EVA) del 1 al 10.

Datos Bioquímicos del Sistema

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Datos Bioquímicos del Sistema</u>	Datos que arrojará el dispositivo de Hardware. (Creatinina)	ID_Bioquimicos_Sistema	Int	15	Primary Key NN	Identificador del examen bioquímico del propio dispositivo.
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		ID_Catalogo_Bioquimico	Int	15	FK	Identificador del catálogo bioquímico.
		Valor	VarChar	50	NN	Valor del dato bioquímico del sistema.
		Periodo	VarChar	45	NN	Período(Pre-Post) Hemodiálisis.

Datos Clínicos

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Datos Clínicos</u>	Datos que anexara el enfermero	ID_Datos_Clinicos	Int	15	Primary Key NN	Identificador de datos clínicos.
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		ID_Catalogo_Clinico	Int	15	FK	Identificador de datos clínicos.
		Periodo	VarChar	45	NN	Periodo (Pre, Post, Trans) Hemodiálisis.
		Valor	VarChar	50	NN	Valor del dato clínico.

Datos Antropométricos

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>Datos Antropométricos</u>	Datos que anexara el enfermero	ID_Datos_Antropometricos	Int	15	Primary Key NN	Identificador del dato antropométrico
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		ID_Catalogo_Antropometrico	Int	15	FK	Identificador del dato antropométrico
		Valor	VarChar	50	NN	Valor del dato clínico.

PreProcesamiento

Tabla	Descripción	Atributos	Tipo	Largo	Restricciones	Descripción de los Atributos
<u>PreProcesamiento</u>	Información importante relacionada con la sesión de hemodiálisis del paciente	ID_PreProcesamiento	Int	15	Primary Key NN	Identificador de la máquina de Hemodiálisis.
		ID_Hemodialisis	Int	15	FK	Identificador de la sesión de hemodiálisis.
		PesoSeco	Int	11	NN	Peso seco
		PesoPreHd	Int	11	NN	Peso pre-hemodiálisis
		Uf	Int	11	NN	UF
		RemociónLiquidos	Int	11	NN	Remoción de Líquidos
		DxTx	Int	11	NN	DxTx
		SPO2	Int	11	NN	SPO2
TC	Int	11	NN	TC		

FR	Int	11	NN	FR
FCPre	Int	11	NN	FC pre-procedimiento
Filtro	VarChar	50	NN	Nombre del filtro
QB	Int	11	NN	QB
QD	Int	11	NN	QD
Dializador	VarChar	10	NN	Dializador
Heparina	Int	11	NN	Heparina
Dosisini	Int	11	NN	Dosis Inicial
INF	Int	11	NN	INF
ProtocoloTrans	VarChar	2	NN	Protocolo de trasplante
VSP	Int	11	NN	Velocidad sistólica pico
Hemoglobina	Int	11	NN	Hemoglobina
HB	VarChar	2	NN	Hepatitis B
HC	VarChar	2	NN	Hepatoto C
VIH	VarChar	2	NN	VIH
KT/V	VarChar	60	NN	Dato que arroja la máquina de hemodiálisis.

Tabla 10 Diccionario de datos

5.1.4 Diagramas de Actividades

Para visualizar cada tipo de diagrama de actividades, se encuentran en el apéndice (Apéndice 8.3).

5.1.5 Plan de Pruebas Software

Alcance












El principal propósito del plan de pruebas es encontrar los errores y defectos que puedan existir en el sistema, con el fin de corregirlos. Así mismo verificar los tipos de datos, que funcionen adecuadamente en cada uno de los campos establecidos. Además, se necesita comprobar que el sistema cumple con los requisitos funcionales establecidos en el SRS.

Otro aspecto importante por evaluar son las características de seguridad relaciones con el ingreso no autorizado de usuarios externos, de manera que no puedan realizar modificaciones donde no sean permitidas, además de que no puedan insertar caracteres inválidos ni inyecciones SQL.

Propósito de la evaluación

El propósito principal es organizar las actividades necesarias para encontrar posibles errores y defectos; es necesario un plan para coordinarlas, a fin de asegurar la calidad del producto. Durante el ciclo de vida del sistema, se escogió como ámbito de las pruebas todos los casos de uso del sistema; a base de los casos de uso y del SRS se desarrolló el plan de pruebas para comprobar el rendimiento y la capacidad del software.

Con ello se verifica el cumplimiento de las especificaciones del SRS, los requisitos del análisis, especificaciones de diseño, y a su vez se esperan encontrar los problemas y determinar los riesgos percibidos del sistema, con la finalidad de entregar un software que sea útil para el usuario. En la siguiente tabla se muestra cada tipo de prueba de software (Tabla 11 Plan de Pruebas Software).

Prueba	Nombre	Descripción	Estatus
CP-SW-001	Iniciar Sesión	Se introduce datos de usuario incorrectos una vez y después datos correctos.	
CP-SW-002	Dar de alta Paciente	Se introduce datos del paciente en un formulario.	
CP-SW-003	Dar de alta Enfermero	El mismo enfermero se tiene que registrar en la aplicación Web, donde tiene que llenar un formulario con todos los datos que se le indiquen.	
CP-SW-004	Dar de alta Médico	El mismo médico se tiene que registrar en la aplicación Web, donde tiene que llenar un formulario con todos los datos que se le indiquen.	
CP-SW-005	Consultar información de los PEM	El administrador tendrá acceso a las cuentas del PEM; solo para visualizar el estado en las que se encuentra el usuario. El administrador no podrá visualizar datos personales de los PEM.	
CP-SW-006	Bajas y Cambios de los PEM	El administrador tendrá acceso a las cuentas del PEM; El administrador realizará las altas, bajas y cambios de cada uno de los usuarios, solo en caso de haber un problema; el administrador no podrá visualizar datos personales de los PEM.	
CP-SW-007	Consultar información del médico	El medico podrá visualizar todos sus pacientes junto con las citas que tiene con cada uno de los pacientes.	
CP-SW-008	Consultar y capturar información del paciente	El enfermero podrá capturar nueva información del paciente.	
CP-SW-009	Consultar y capturar información del paciente.	El médico podrá capturar nueva información del paciente.	
CP-SW-010	Modificar datos personales del PEM	Los usuarios del PEM podrán modificar sus datos personales.	
CP-SW-011	Modificar citas del médico.	El médico tendrá acceso a modificaciones de sus citas con sus pacientes, pero, el sistema, no deberá de permitirle la introducción	






		caracteres especiales o numéricos en campos donde no deberían de introducirse campos numéricos.	
CP-SW-012	Modificar recomendaciones médico	El médico podrá insertar tantas recomendaciones como él considere necesarias dentro del tratamiento de un paciente.	
CP-SW-013	Dar de alta medicamentos.	El médico podrá registrar los medicamentos que crea necesarios para sus pacientes.	
CP-SW-014	Descargar informes médicos en PDF	El médico y el paciente podrán descargar en un formato PDF, el avance que tuvo el paciente, durante las sesiones de hemodiálisis y como se ha ido comportando sus niveles de creatinina.	
CP-SW-015	Descargar recetas médicas	El médico podrá descargar la receta médica, generada por el sistema. Donde contiene los medicamentos y recomendación del médico a cargo.	
CP-SW-016	Visualización de gráficas paciente y médico.	El médico y el paciente podrán visualizar las gráficas a base de su comportamiento de los niveles de creatinina del mismo paciente.	

Tabla 11 Plan de pruebas software

5.1.6 Diagramas de Clase

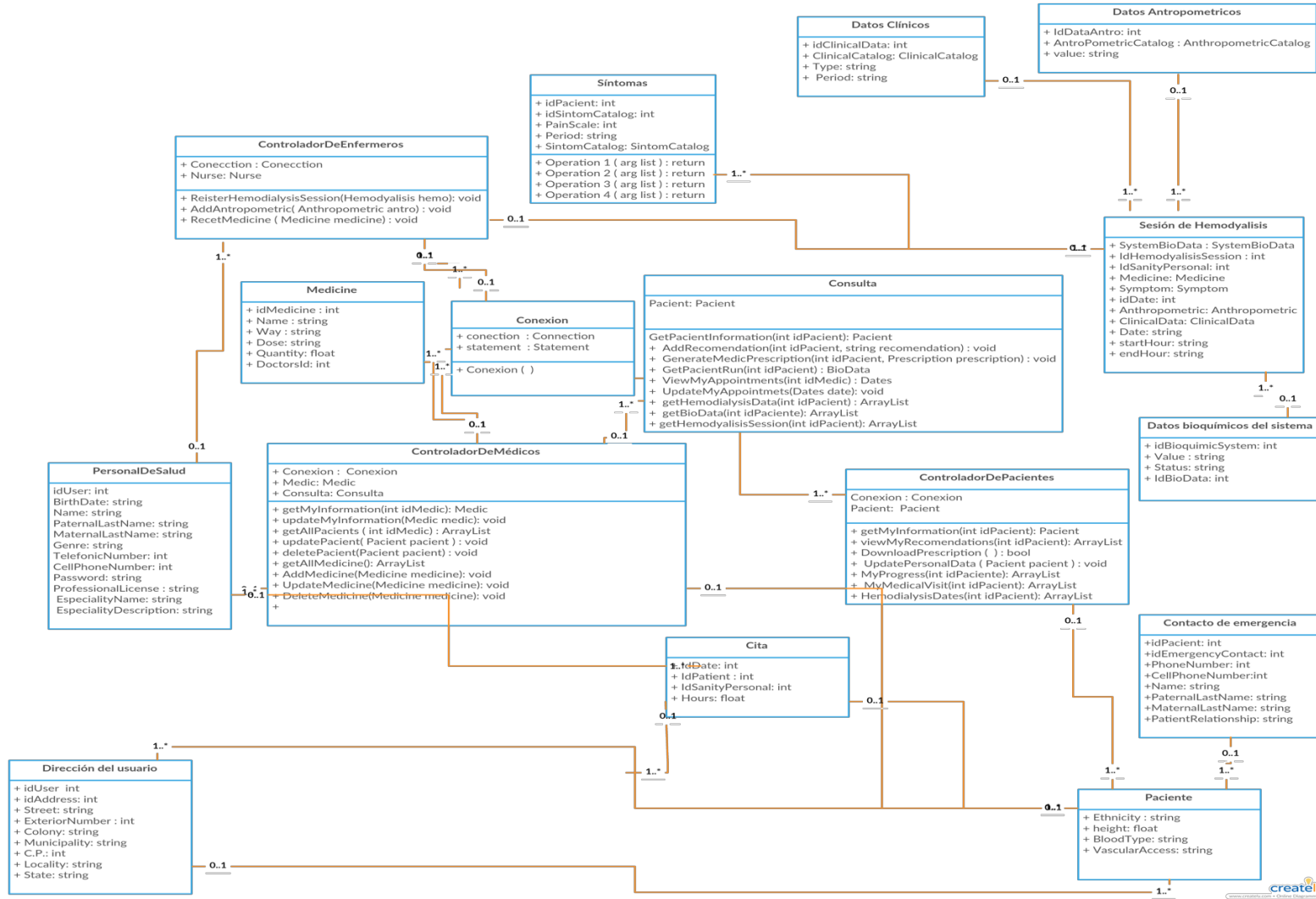


Ilustración 6 Diagrama de clase

5.1.7 Prototipos No Funcionales

Los prototipos no funcionales del sistema de creatinina se encuentran en el apéndice (Apéndice 8.5)

5.1.8 Capturas del sistema WEB

Los prototipos funcionales del sistema de creatinina se encuentran en el apéndice (Apéndice 8.10)

5.1.9 Software utilizado

- **Jade:** es un motor de plantillas de alto rendimiento, es considerado un preprocesador de código HTML y se utilizó para la construcción de vistas dentro de la aplicación WEB.
- **Python:** Se utilizó para poder almacenar, enviar y recibir datos. Se estableció una conexión hardware-software mediante el protocolo I2C y se podrá lograr la comunicación del sensor a la base de datos.
- **JavaScript:** Se utilizó para la creación y la función dinámica en tiempo real.
- **C:** Sirvió para el IDE de Arduino y programar los modelos matemáticos del espectrofotómetro y además de programar los diferentes dispositivos de hardware que contempla el sistema.

5.1.9.1 Frameworks

- **DevStream:** Se utilizó para la construcción de widgets (tablas, listas y gráficas).
- **NodeJS:** Construcción del back-End, se encarga de recibir peticiones de la vista de la aplicación, solicitar datos a la base de datos y enviar resultados a las vistas para su procesamiento.
- **Angular:** Crear y mantener la aplicación en una sola pagina.

5.1.10 Historial de versiones Software

<p>Versión 1.0</p>	<p>Commit inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Login Funcional • Registro de Personal de salud • Conexiones a bases de datos
<p>Versión 1.1</p>	<p>Catálogo de pacientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta de paciente completo
<p>Versión 1.1.1</p>	<p>Sucatalogos y actualización de boxes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sucatalogos y actualización de boxes
<p>Versión 1.2 11-10-2018</p>	<p>Nuevos modulos para enfermeros y sockets web</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sockets web -Modulos de enfermo Validaciones de fecha y citas para consulta médica
<p>Versión 1.3 14-10-2018</p>	<p>Consultas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo con consultas definidas y altas validadas
<p>Versión 1.4 18-10-2018</p>	<p>Consulta-agenda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfermeros pueden dar de alta consultas a determinados médicos en horas, no se permite enpalmar.
<p>Versión 1.5 22-10-2018</p>	<p>Consulta médica y datos clínicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se añaden los datos clínicos a las consultas
<p>Versión 1.5.1 27-10-2018</p>	<p>Scroll activado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se activó una barra de scroll para dentro de sub-catálogos.
<p>Versión 1.6 2-11-2018</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de consulta COMPLETO
<p>Versión 1.6.1 8-11-2018</p>	<p>Módulo hemodiálisis inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se inicia el módulo de hemodialisis y validaciones en registro de sesiones de hemodiálisis por parte del médico.
<p>Versión 1.6.1.2 12-11-2018</p>	<p>Hemodiálisis final</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo hemodiálisis casi terminado

<p>Versión 1.7 13-11-2018</p>	<p>Comunicación en servidor de sockets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se agrega la función del tiempo real en hemodiálisis y cálculo del IFG
<p>Versión 1.8 15-11-2018</p>	<p>Valores de creatinina</p> <ul style="list-style-type: none"> • El paciente es creado, se añade la funcionalidad; el paciente puede ver sus valores de creatinina en hemodiálisis y su gráfica.
<p>Versión 1.9 20-11-2018</p>	<p>Actualización en pacientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • El paciente ve sus medicamentos recetados y puede modificar sus datos personales.
<p>Versión 2.0 26-11-2018</p>	<p>Fin del trabajo terminal.</p>

Tabla 12 Historial de Versiones Software

5.2 Hardware

En esta sección se presenta todos los diseños generados del dispositivo de hardware; cada módulo, contienen diferentes diagramas y modelados en 3D que se realizaron durante trabajo terminal 1 y 2. La programación del dispositivo de hardware se realizó en el IDE de programación de Arduino, por la facilidad de ser software libre. Además, se presenta la construcción final del espectrofotómetro, centrifugadora y incubadora. Los restantes diseños se encuentran en los anexos (Anexos 8.5.2). Cada uno de los módulos de hardware son semiautomáticos, y es por ello por lo que debe de ser operado por un enfermero con conocimientos básicos de informática y de químico laboratorista para que el sistema funcione de manera optima y eficaz. Así mismo se estructuró una fuente de alimentación de 120 volts para cada uno de los módulos y tener salidas de voltaje de 5 voltios y 12 voltios para su correcta alimentación.

Se realizó un manual de usuario con el objetivo de que el usuario final conozca las funcionalidades y de como operar el sistema de cada uno de los módulos y así dar buen funcionamiento del sistema, consulte (Anexos 8.10 Manual de Usuario Hardware).

5.2.1 Centrifugadora

5.2.1.1 Descripción y Especificaciones de la centrifugadora

Se diseño y se imprimió en 3D una base para la realización de una centrifugadora con el fin de obtener el suero. La muestra de suero es obtenida a partir de la sangre total, la cual es separada mediante la centrifugación.

Para la realización de la centrifugadora se adquirieron los siguientes materiales:

- Motor Brushless A2212
- Controlador ESC 30 A
- Placa Arduino
- Base de la Centrifugadora
- Switch

A la centrifugadora propuesta se le adaptará el motor Brushless con las siguientes especificaciones (Tabla 13).

Especificaciones de la Centrifugadora Propuesta

RPM	6,000 revoluciones por minuto
FCR	2016 x g
Rotor (mm)	50 mm
Angulo	45° grados

Tabla 13 Especificaciones de la centrifugadora propuesta

Las especificaciones de la centrifugadora propuesta se adecuaron al tipo de motor adquirido y las medidas del rotor, además de que las centrifugadoras comerciales manejan en promedio 6000 revoluciones por minuto. Para obtener el FCR es lo que coloquialmente se llama “número de ges”, porque se mide empleando como unidad la aceleración de la gravedad, “g”.

5.2.1.2 Ecuación Matemática de la centrifugadora

La fórmula para obtener el FCR es la siguiente ecuación:

$$FCR = 1.12 * \left(\frac{R}{1000} \right)^3 * \left(\frac{RPM}{60} \right)^2$$

Siguiendo los parámetros de la ecuación podemos obtener nuestro RCF añadiendo los valores dados y quedaría de la siguiente forma:

$$FCR = 1.12 * 5011 * \left(\frac{6000}{1000} \right)^3$$

$$FCR = 2016.89$$

Las especificaciones del motor propuesto deben de cumplir con las siguientes indicaciones:

- Motor Brushless KV1000, A2212
- Diámetro del eje: 3.175mm.
- Corriente: 12A/60s.

Para poder lograr las 6000 revoluciones por minuto se debe de programar los anchos de pulso dentro del controlador ESC.

Un pulso es una señal que se envía cada cierto tiempo, normalmente cada 20 milisegundos. El ESC se controló con pulsos de 2 milisegundos con una velocidad mínima de 1000 para 1ms y una velocidad máxima de 2000 para 2ms. Dicha programación se realizó en la placa Arduino.

De igual manera se estableció un tiempo determinado para que la centrifugadora termine su proceso de la sangre el cual consiste en 7 minutos.

Dentro del plan de pruebas de Hardware y Química se desarrollaron las distintas pruebas de estrés para su buen funcionamiento, donde se verificará las revoluciones por minuto con un tacómetro digital (Anexos 8.4.2 Plan de Pruebas Hardware y 8.4.3 Plan de Pruebas Química).

5.2.1.3 Diagrama Circuito Eléctrico de la Centrifugadora

En el siguiente diagrama (Ilustración 7), se muestra el motor conectado al ESC que es controlado por un Arduino y alimentado por una fuente de 12 volts.

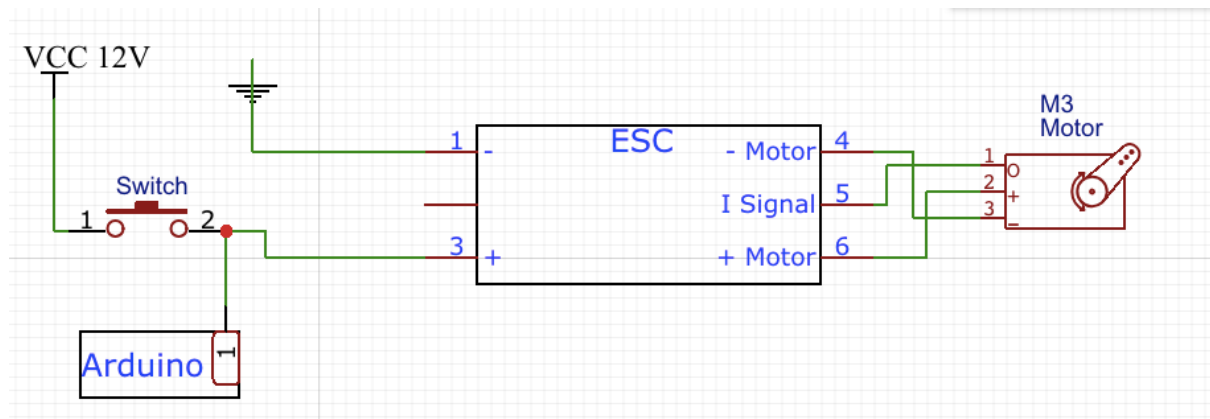


Ilustración 7 Diagrama del circuito eléctrico de la centrifugadora

5.2.1.4 Modelos en 3D de la Centrifugadora

Se diseñó la base y el motor de la centrifugadora en 3D, en el programa de solidworks®, misma que será impresa en una máquina de 3D. En la parte superior del rotor angular se realizó seis orificios a 45° grados, para que de esta manera se podrán insertar los tubos de 2ml. A continuación, se muestra en conjunto las diferentes secciones de modelado. Dentro de Anexos se encuentran cada uno de los elementos en 3D que conforman la centrifugadora (Anexo 8.5.2 Prototipos no funcionales).

- **Diseño en SolidWorks**

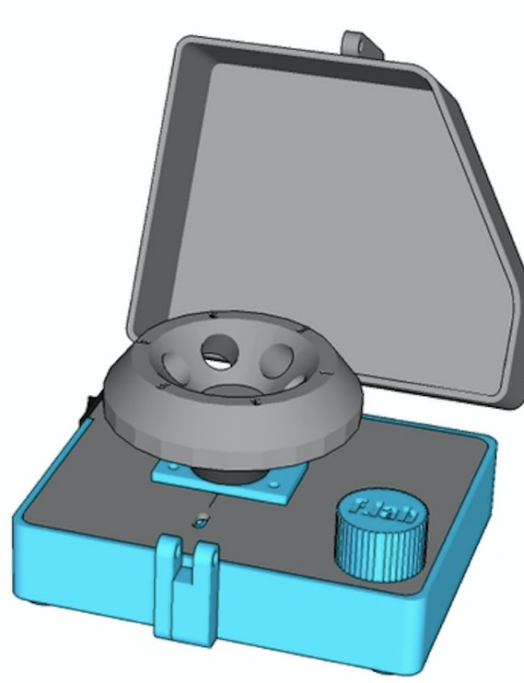


Ilustración 8 Diseño en 3D en SolidWorks Centrifugadora

- **Elementos físicos de la centrifugadora impresos en 3D**

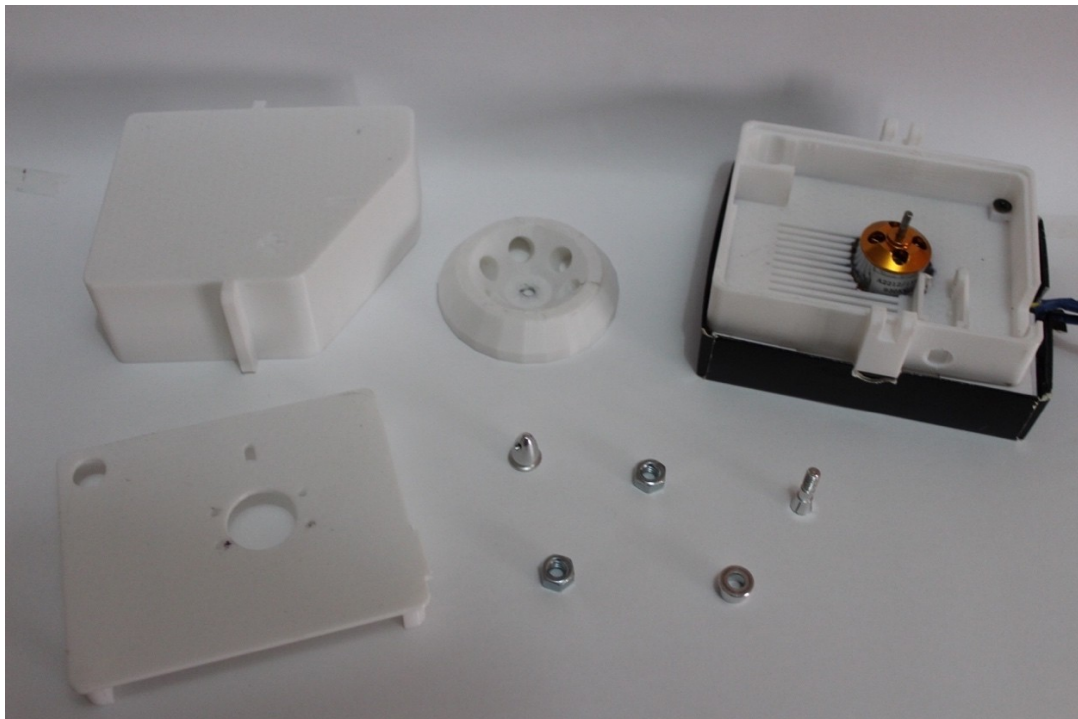


Ilustración 9 Elementos físicos de la centrifugadora 3D

- **Dispositivo armado de los elementos de la centrifugadora**

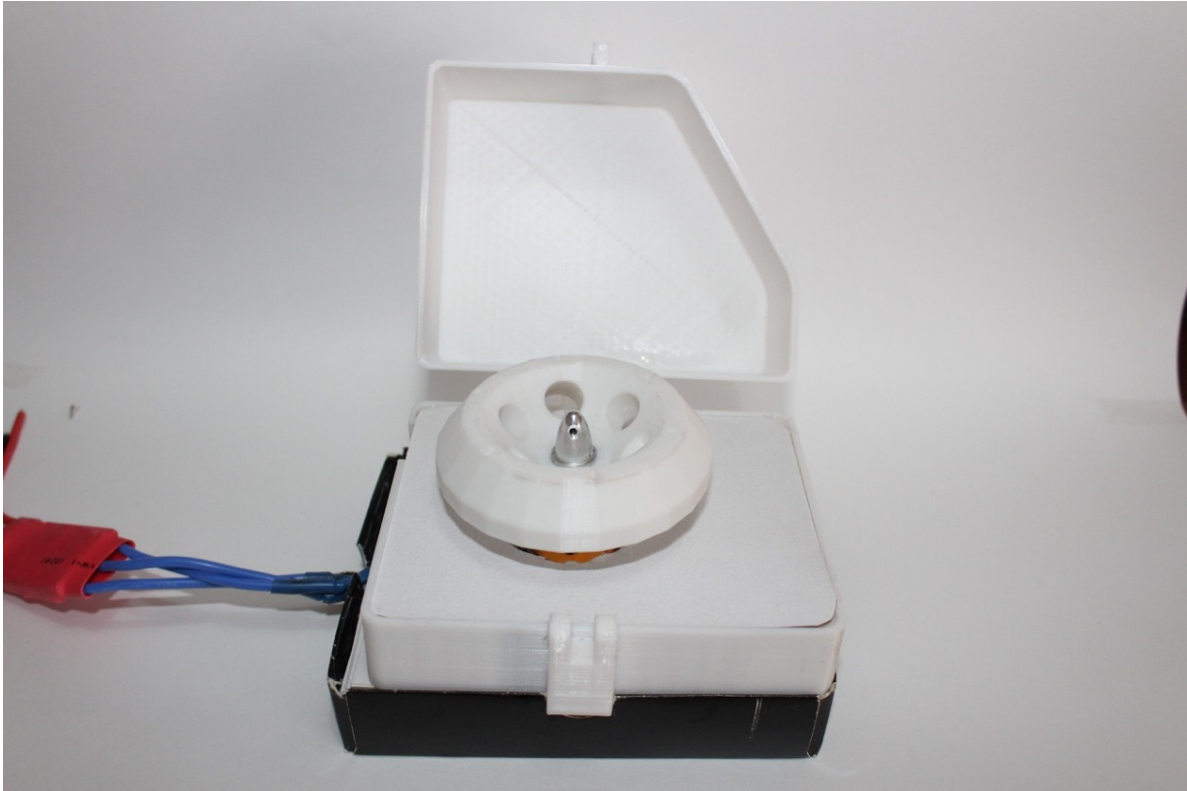


Ilustración 10 Dispositivo armado de los elementos de la centrifugadora

5.2.2 Incubadora

5.2.2.1 Descripción y Especificaciones

Se diseñó una incubadora en forma de plancha calentadora donde se encuentra una placa de Peltier (TEC1-12706) para la generación de calor, dicha placa se programará para que, caliente la muestra a 37°C constantes, con el fin de calentar la muestra ya que nuestro cuerpo humano trabaja a dicha temperatura. Dentro de la programación de la incubadora se planeó establecer un rango de tiempo de calentamiento para así poder indicar que efectivamente cumplió con el objetivo de calentar la muestra a 37°C. Así mismo, la base de la placa de Peltier esta adherido a un motor reductor con el objetivo de poder mover la muestra y se logre calentarla completamente.

Para la ejecución del movimiento entre el motor y la placa de Peltier se adquirieron 5 rodamientos (valeros) con medidas de 10x15x4mm.

Para más información revisar el plan de pruebas hardware y química para obtener más información sobre el calentamiento de la incubadora (Anexo 8.4.2 Plan de Pruebas Hardware y 8.4.3 Plan de Pruebas Química).

Para la construcción de la incubadora propuesta se adquirieron los siguientes materiales:

- Motor reductor 5v.
- TEC1-12706
- Placa Arduino
- 2 diodos
- 2 resistencias de un 1K ohm
- 2 transistores TIP31c
- 2 Placas de cobre
- 1 Switch
- 2 Leds (Verde y Rojo)
- 2 Resistencias de 220 ohms
- Cables y pines
- Base y elementos de la incubadora
- 5 rodamientos de 10x15x4mm

5.2.2.2 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora

▪ Placa de Peltier

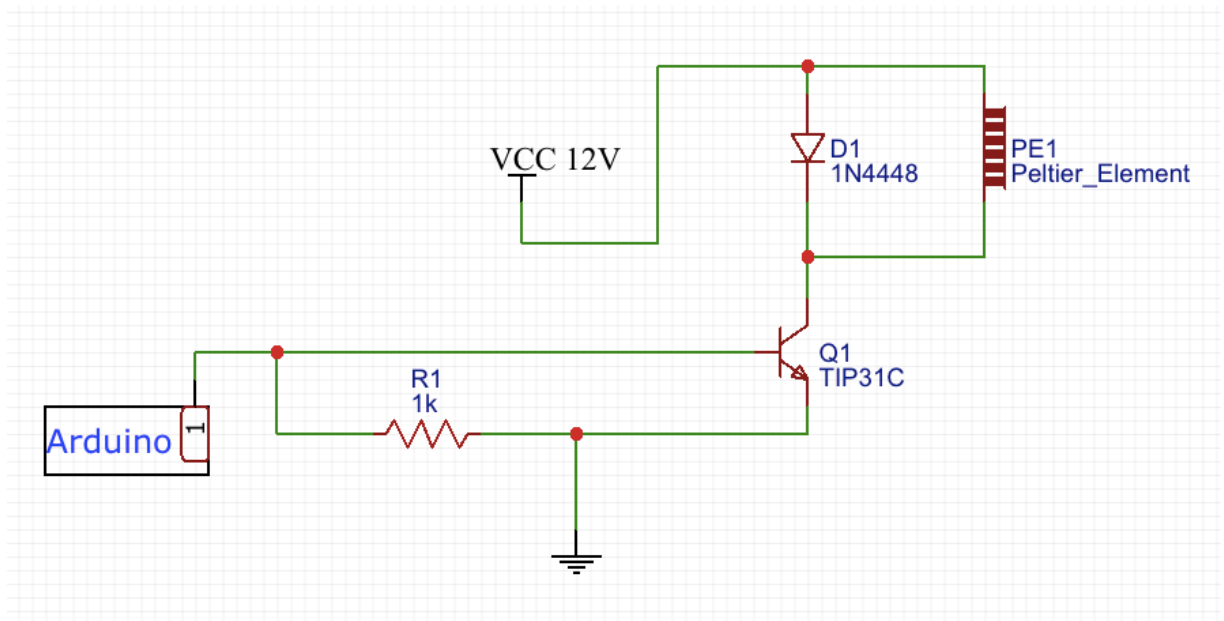


Ilustración 11 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora Placa de Peltier

- **Motor reductor**

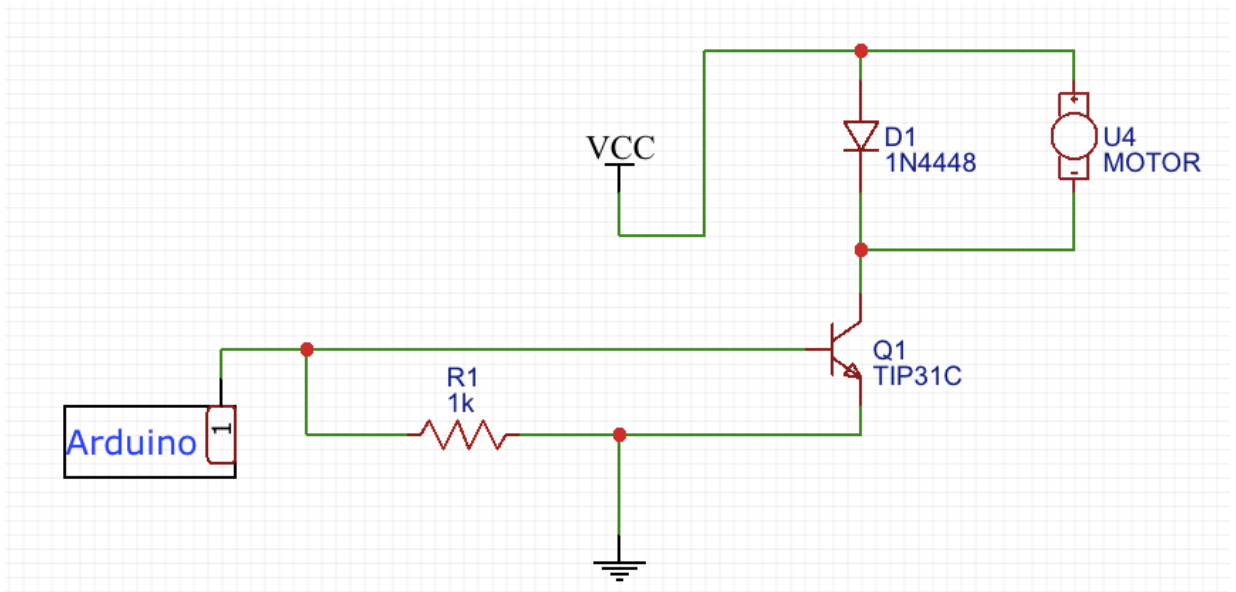


Ilustración 12 Diagrama Circuito Eléctrico de la Incubadora Motor Reductor

- **Diagrama unificado Motor Reductor & Placa de Peltier**

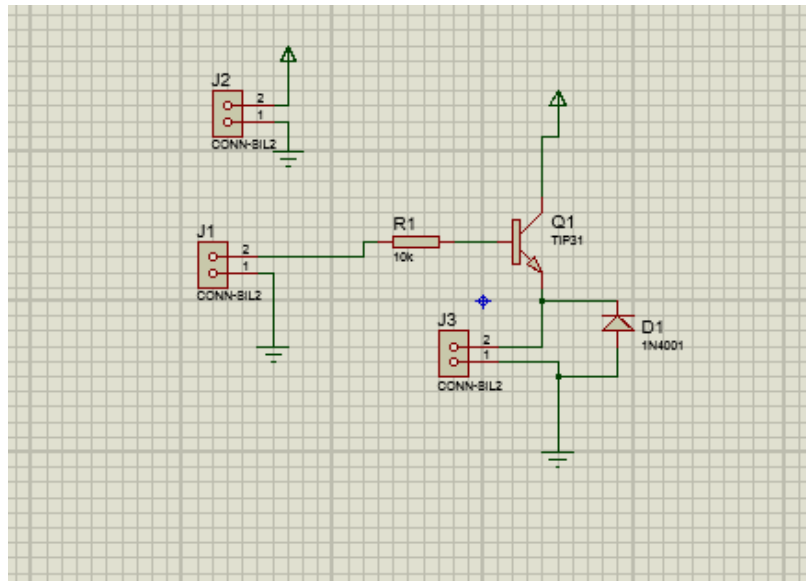


Ilustración 13 Diagrama unificado Motor Reductor & Placa de Peltier

5.2.2.3 Diseño e impresión de PCB

- **Placa de Peltier & Motor reductor**

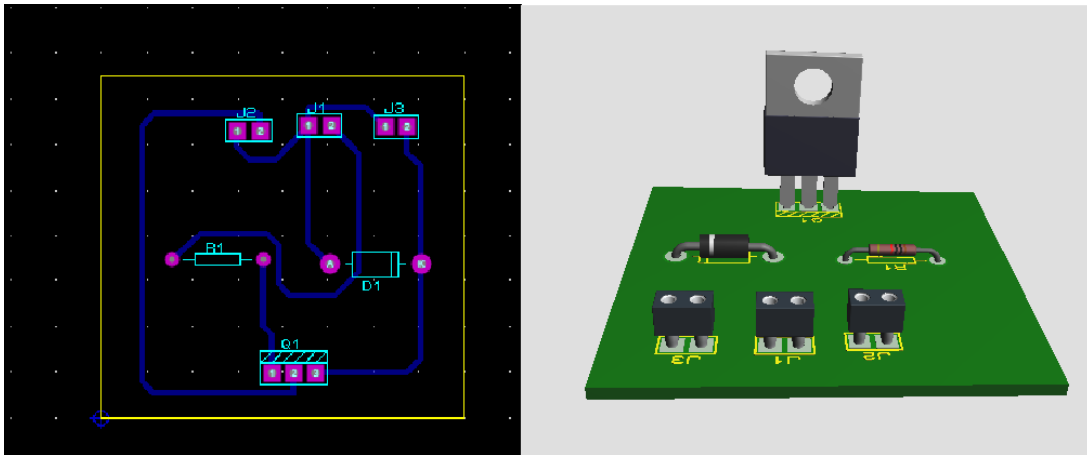


Ilustración 14 Placa de Peltier & Motor reductor PCB

5.2.2.4 Modelo 3D de la Incubadora

Se diseño la base y los elementos necesarios para la construcción de la incubadora en 3D, en el programa de SolidWorks, misma que será impresa en una máquina de 3D. Dentro de Anexos se encuentran cada uno de los elementos en 3D que conforman la incubadora (Anexo 8.5.2 Prototipos no funcionales).

- **Diseño en SolidWokrs**

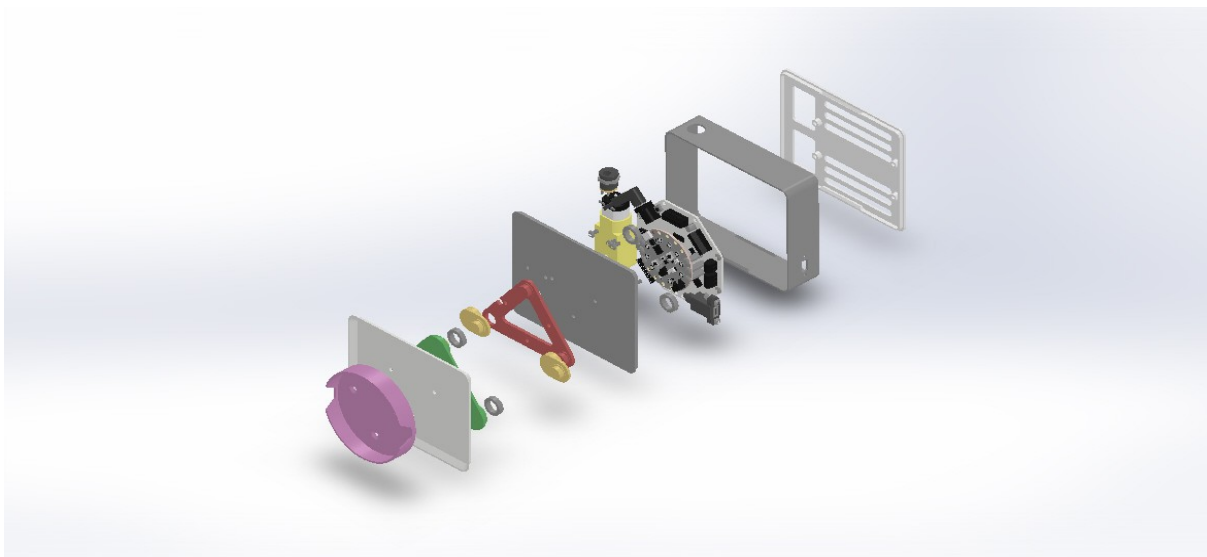


Ilustración 15 Diseño en SolidWorks Incubadora

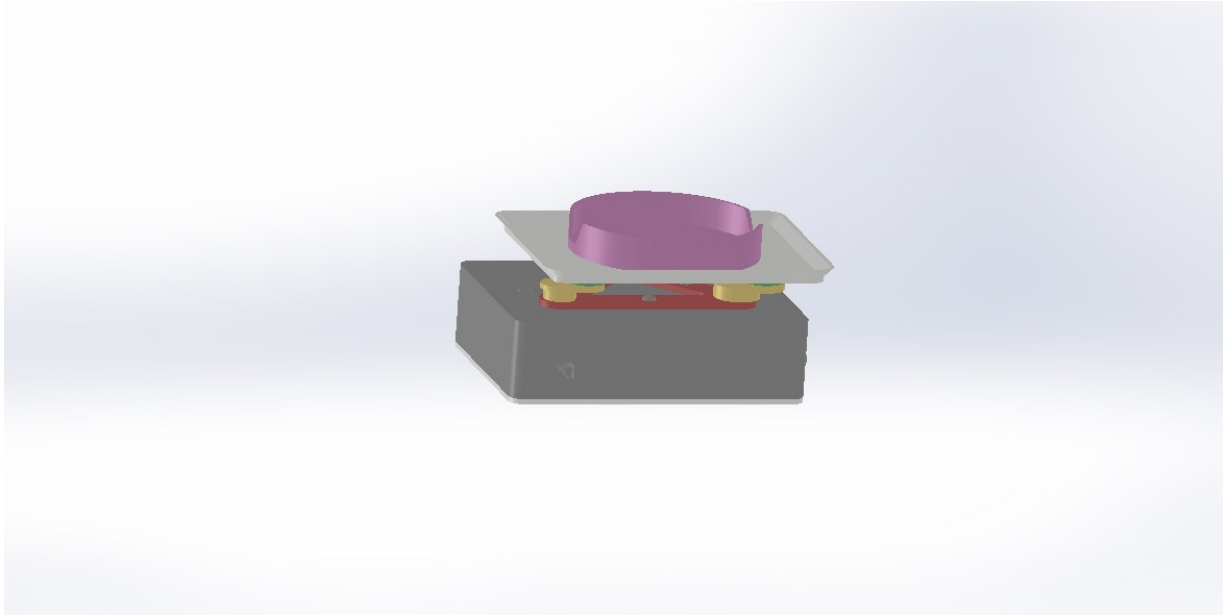


Ilustración 16 Diseño en SolidWorks Incubadora 2

- **Elementos físicos de la incubadora impresos en 3D**

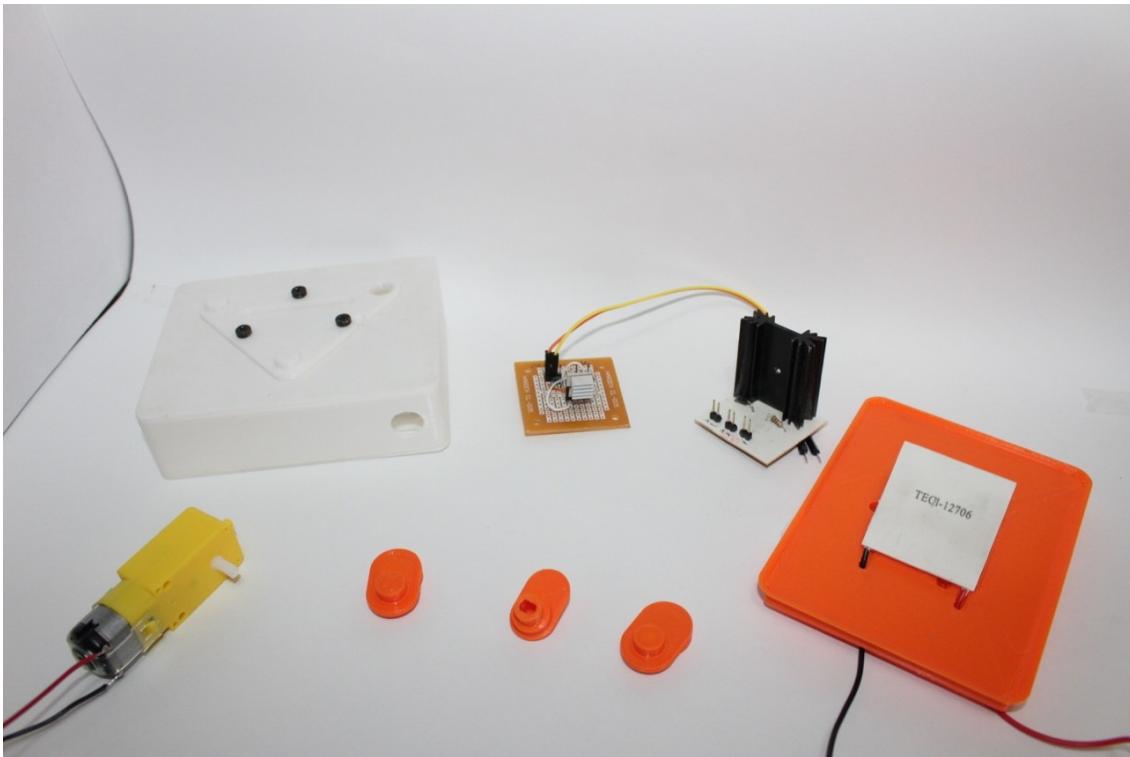


Ilustración 17 Elementos físicos de la incubadora impresos en 3D

- **Dispositivo armado de los elementos de la incubadora**



Ilustración 18 Dispositivo armado de los elementos de la incubadora

5.2.3 Espectrofotómetro

5.2.3.1 Descripción y Especificaciones

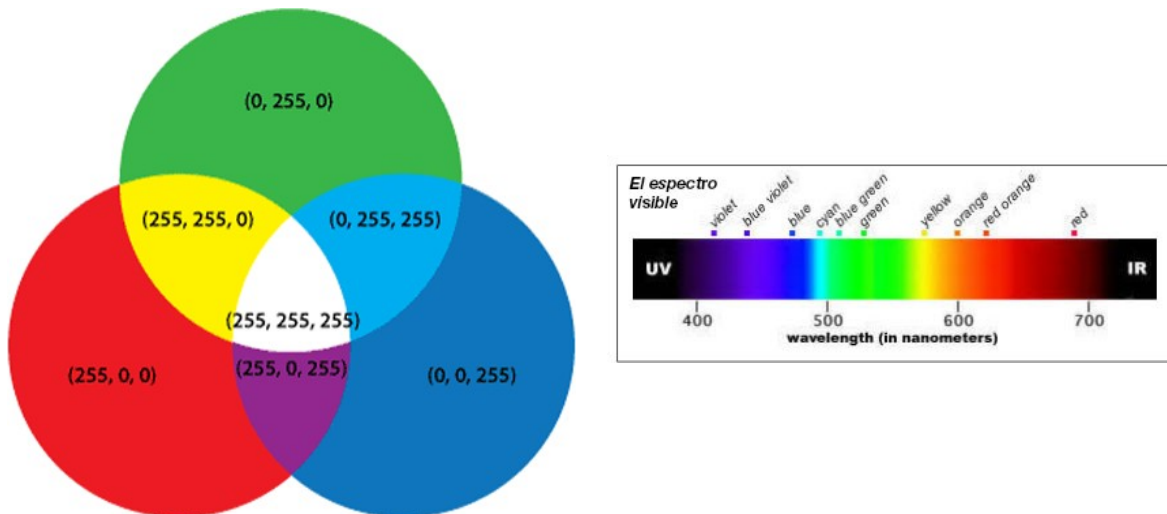
Se diseñó y construyó un espectrofotómetro con el objetivo de analizar muestras químicas mediante la absorbancia de la muestra, esto se logra por la irradiancia incidente de una luz sobre la muestra, esta es transformada a longitudes de onda que son específicos de cada tipo de muestra, posteriormente es necesario de un sensor que mida la absorción de radiación de moléculas que estén dentro de la región espectral Visible, esto constituye la base de la técnica denominada Espectrofotometría de Absorción Molecular. La aplicación de esta se lleva a cabo midiendo la relación de la intensidad de la radiación antes (I_0) y después (I) de interactuar con la muestra, esta relación es denominada Transmitancia (T), continuando con el proceso se utiliza una fórmula para obtener la absorbancia de la muestra.

Para la construcción del espectrofotómetro propuesta se adquirieron lo siguientes materiales:

- Sensor OPT101 de Texas Instrument
- Led RGB
- Caja de plástico
- Pintura negro mate
- Placa Arduino

Se utilizó un Led RGB para la generación de distintos tonos de luz. Los colores del led vienen representados con números comprendidos entre el valor 0 hasta el valor 255 (Ilustración 19). Esto nos sirve para la generación de colores para el espectro Visible y convertirlo en nanómetros.

Ilustración 19 RGB



Se generó un programa en el IDE de Arduino, para la conversión de nanómetros a colores RGB, misma que es fácil de interactuar y modificar el valor de nanómetros; esto en un futuro se puede modificar para que automáticamente se seleccione mediante botones los nanómetros que el usuario requiera sin tener que meterse a código.

Como se mencionó anteriormente, para la construcción de un espectrofotómetro es necesario de tener un sensor que mida la intensidad de la radiación de la luz y es por ello por lo que se utilizó el sensor OPT101 de la compañía Texas Instrument, es un fotodiodo monolítico y amplificador de transimpedancia, este sensor es utilizado para aplicaciones médicas e

instrumentos de laboratorio. Para su uso adecuado es obligatorio de leer la hoja de datos del sensor para poder ver como funciona, que se encuentra en el anexo (Anexo 8.10.4), y por ello es necesario de contar con una caja de plástico pintada de color negro mate, con el objetivo de reducir el ruido u otra iluminación externa al del dispositivo. Además de que es necesario de generar algunas fórmulas matemáticas para que el sensor funcione de la manera mas optima posible, mismas que se encuentran en el siguiente subtema (5.2.3.2 Ecuaciones).

5.2.3.2 Ecuaciones

En esta sección se explicarán los modelos matemáticos utilizados para la obtención de la absorbancia molecular, esto se subdivide en varios puntos que se muestran a continuación:

1. ADC del OPT101

Es necesario de convertir la señal analógica a digital, esto es decir convertir el voltaje de entrada 0 a 5 voltios en valores enteros comprendidos entre 0 a 1023. La fórmula para el ADC del sensor es la siguiente:

$$\text{ADC} = \frac{\text{V}_{\text{out}} \cdot 1023}{5}$$

De este modo, tenemos relacionada el voltaje de salida del sensor con los valores digitales de Arduino.

2. Ecuación de la curva (Irradiancia)

Dentro del DataSheet del sensor OPT101 se puede visualizar una gráfica para la obtención de irradiancia en relación con la salida de voltaje (Ilustración 20).

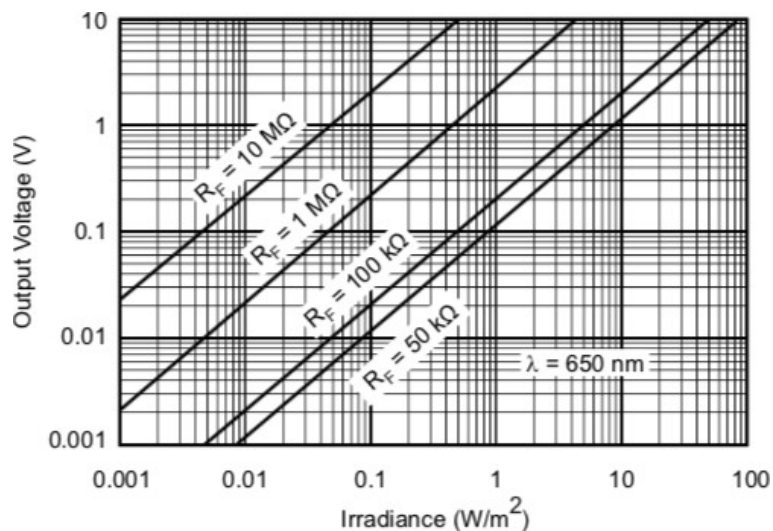


Ilustración 20 Gráfica de la curva de irradiancia

Esto nos indicará que tanta irradiancia pasa sobre la muestra. El primer paso es conocer la pendiente de la recta ($m = 1 \text{ E}\Omega$).

Se deben de establecer 4 puntos específicos (X, Y) para poder insertarlos en la fórmula de la pendiente y nos quedaría de la siguiente forma.

$$m = \frac{G_5 - G_1}{8_5 - 8_1}$$

$$m = \frac{10 - 0.002}{4.5 - 0.001}$$

$$K = L \cdot LLL$$

Ahora, para conocer la irradiancia se sustituyen los valores en la siguiente fórmula:

$$8 = 1G + N$$

Se debe de despejar (Y) para la obtención de la irradiancia:

$$G = \frac{8 - N}{1}$$

$$G = \frac{10 - 0.002}{2.222} = 4.5009$$

La irradiancia es necesario para obtener la transmitancia de la muestra.

3. Transmitancia

Para conocer la transmitancia es necesario de tener la irradiancia inicial (I_0) que es la cantidad de luz total incidente y la irradiancia final (I) que es la cantidad de luz transmitida por la muestra. La fórmula de la transmitancia es la siguiente:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

4. Absorbancia

Por ultimo, para conocer la absorbancia de la muestra es necesario de contar con la transmitancia de la muestra y la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$A = -\log_{10}(T)$$

La absorbancia es necesario para la construcción del espectrofotómetro y además de que los reactivos comerciales, interactúan con la absorbancia de la muestra para los diferentes métodos de análisis tales como el Blanco, Patrón y Muestra. Dicho método

se utiliza para conocer los exámenes químicos sanguíneos, así como la creatinina, urea, glucosa, entre otros.

5. Reactivos

Para conocer la creatinina, se utilizó el reactivo SpinReact Creatinine mismo que se explica en el apartado (5.3 Análisis Químico) que se encuentra en este documento.

Dentro de la hoja de datos se debe de calcular la absorbancia del Blanco, Patrón y Muestra a los 30 segundos (B_1) y 90 segundos (B_5). Después calcular:

$$\Delta B = (B_5) - (B_1)$$

Hacer el procedimiento para el Patrón y Muestra, y nos quedaría de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta B \text{ (Ejemplo)}}{\Delta B \text{ (Patrón)}} * 2 = \text{Resultado} / \text{Ra}$$

5.2.3.3 Envío de Datos

La función de envío de datos se divide en dos partes de Arduino a RaspberryPi y viceversa. El Arduino está programado para que funcione mediante botones, cuando se oprime el botón de absorbancia, el microcontrolador manda a llamar a la Raspberry para conocer el estatus del sistema, si está en modo operar, el espectrofotómetro empieza a trabajar y cuando se tenga el dato de la creatinina este lo manda a la Raspberry mismo que será guardado en la base de datos automáticamente, en caso contrario de que no aparezca el modo operar, se notificará que ocurrió un error. Una vez guardados los valores de creatinina se notificará al servidor node para que éste se encargue de realizar una actualización a la información contenida dentro de los widgets de la sesión de hemodiálisis.

5.2.3.4 Diagrama de Circuito Eléctrico

▪ Led RGB

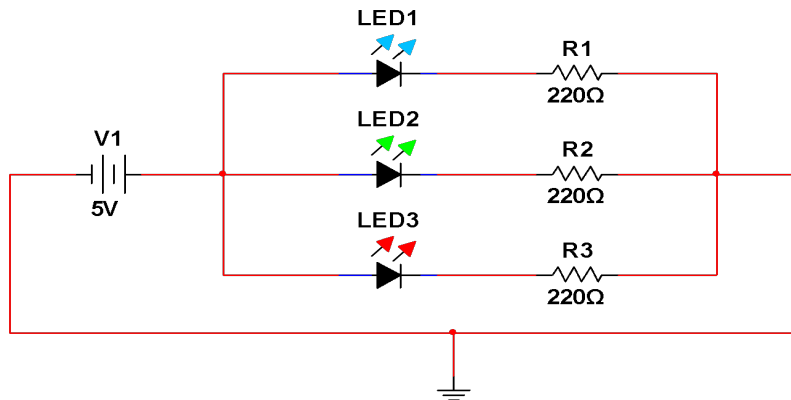


Ilustración 21 Circuito eléctrico LED RGB

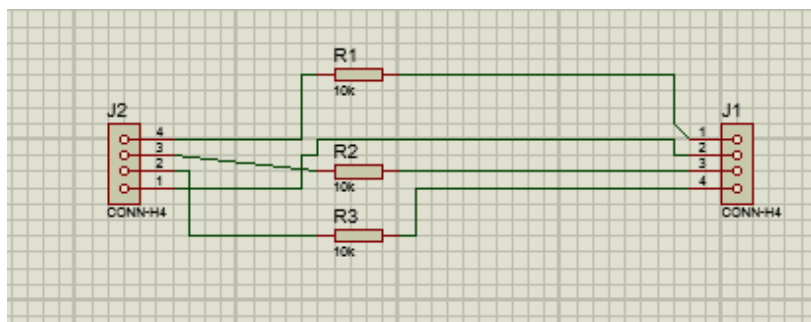


Ilustración 22 21 Circuito eléctrico LED RGB 2

▪ Sensor OPT101

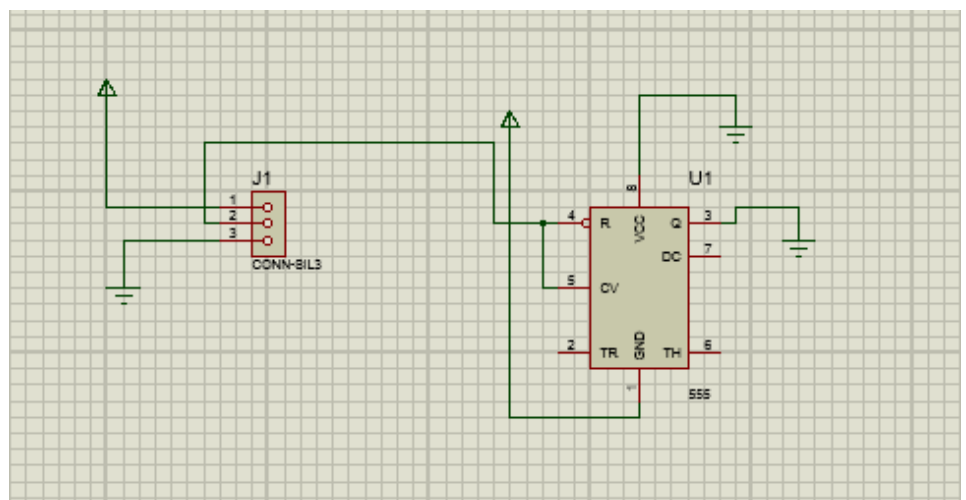
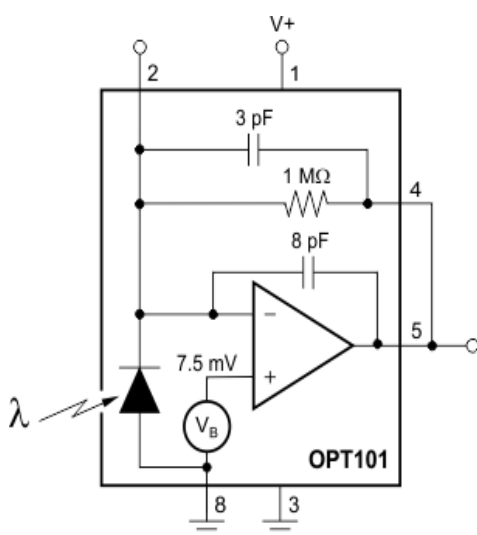


Ilustración 23 Circuito eléctrico Sensor OPT101

5.2.3.5 PCB Diseño

- Led RGB

- OPT101

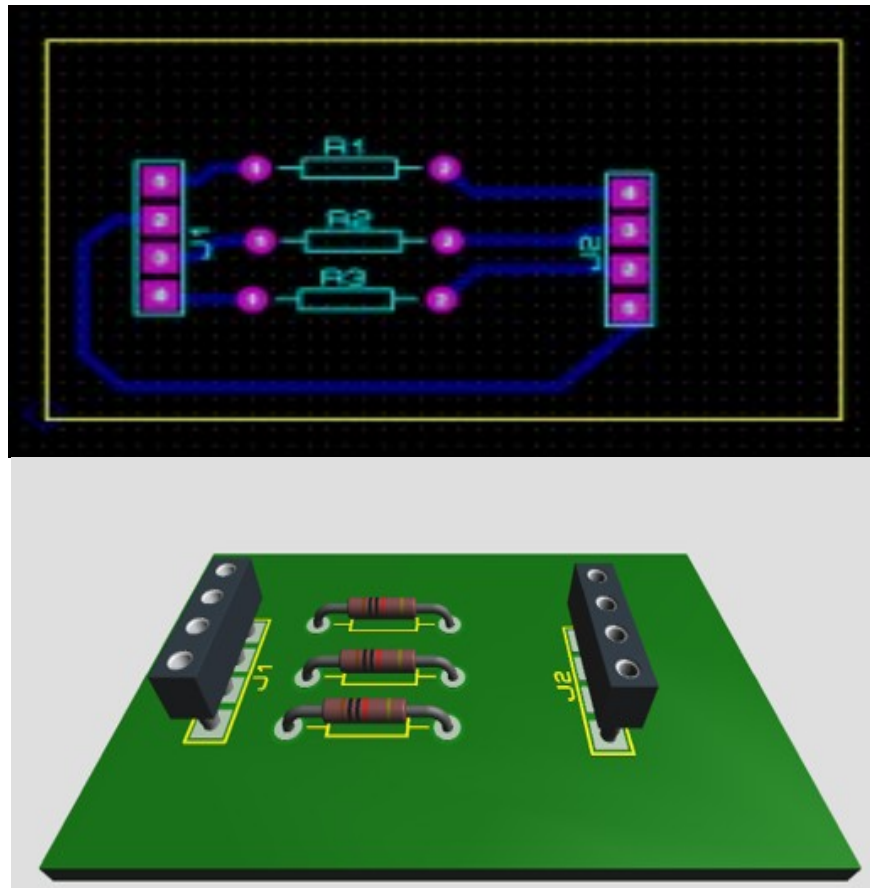


Ilustración 24 PCB Diseño Led RGB

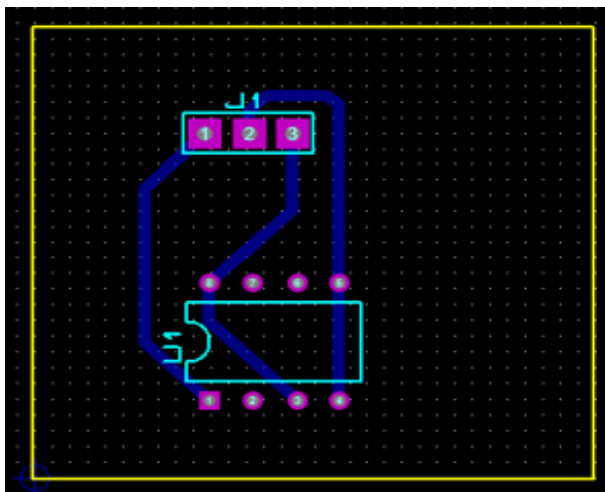


Ilustración 25 PCB Diseño OPT101

- **Impresión PCB**

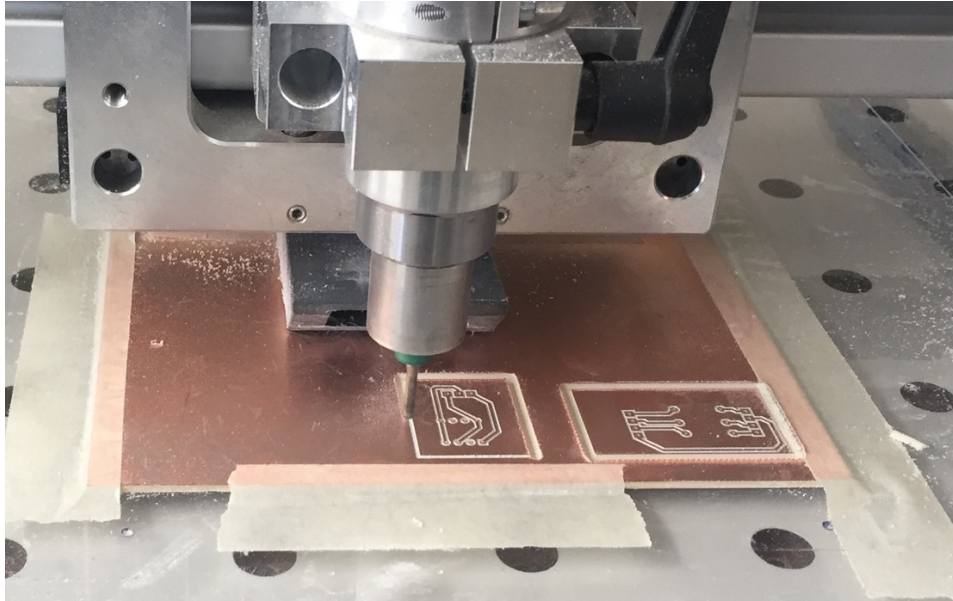


Ilustración 26 Impresión PCB OPT101 & Led RGB

5.2.3.6 Modelo en 3D del Espectrofotómetro

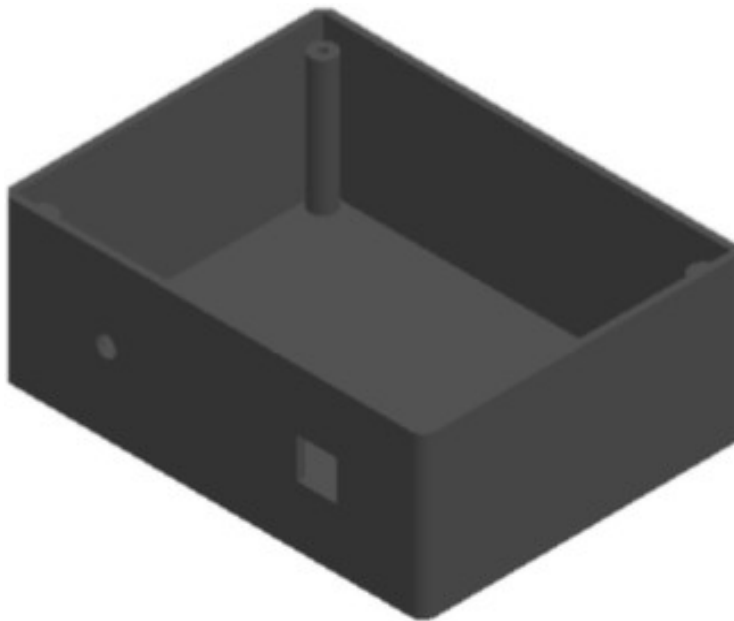


Ilustración 27 Modelo 3D del espectrofotómetro

5.2.3.7 Dispositivo completo del Espectrofotómetro

Para la construcción del espectrofotómetro, se unieron los diferentes componentes para concretar el prototipo final del espectrofotómetro, como se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 28 Prototipo final del espectrofotómetro).



Ilustración 28 Prototipo final del espectrofotómetro

5.2.4 Alimentación

Para alimentar el sistema InfoBlood se utilizó una fuente de alimentación de una CPU y se conectó los cables necesarios para alimentar los componentes a 12 y 5 volts. Además, se diseñó una PCB para estructurar cada uno de los voltajes, como se muestra a continuación.

- **Diseño PCB**

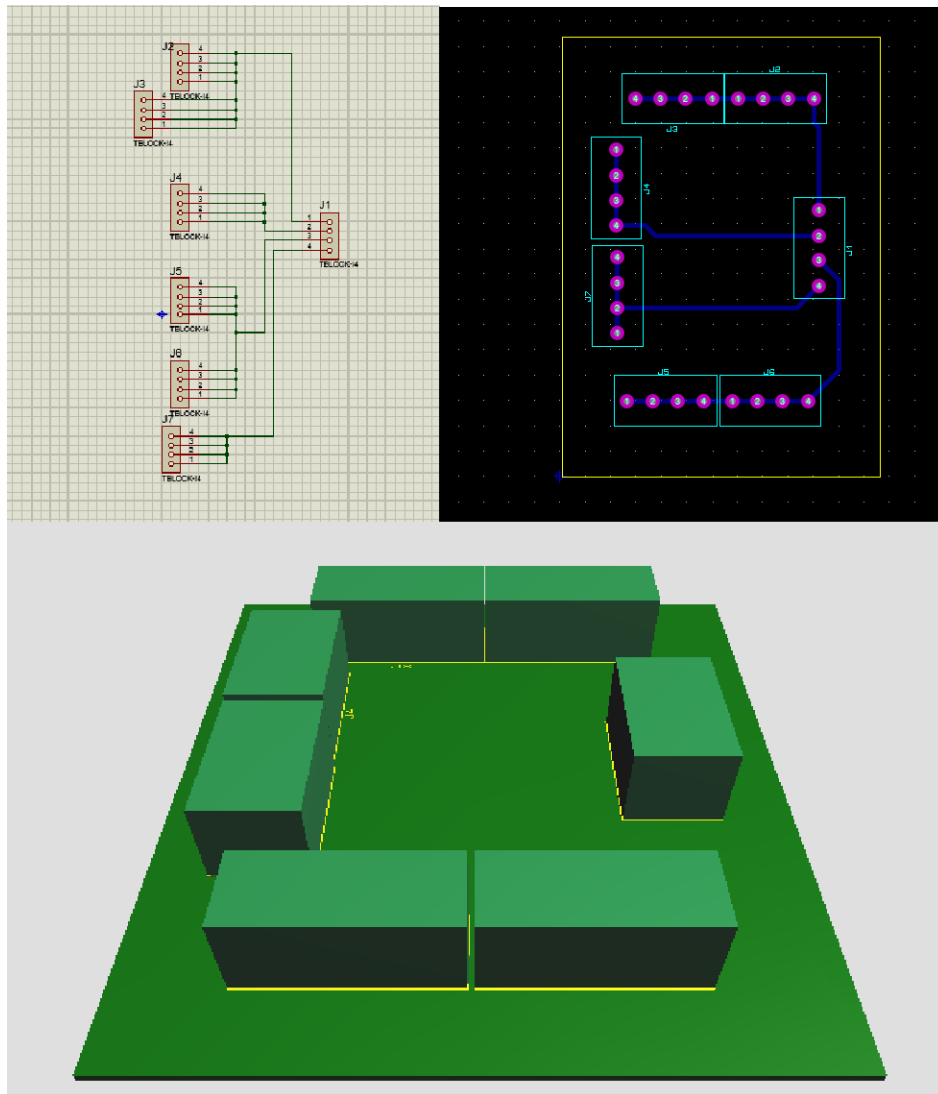


Ilustración 29 Diseño PCB de la alimentación

- **Impresión PCB**

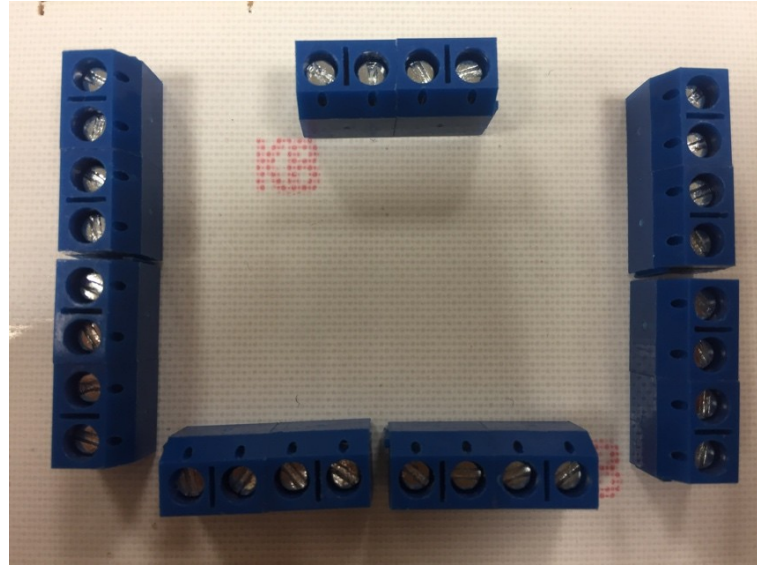
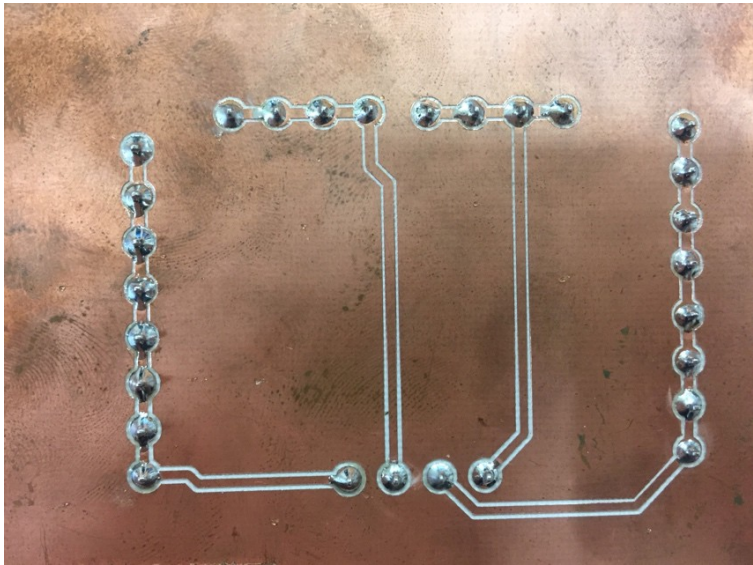
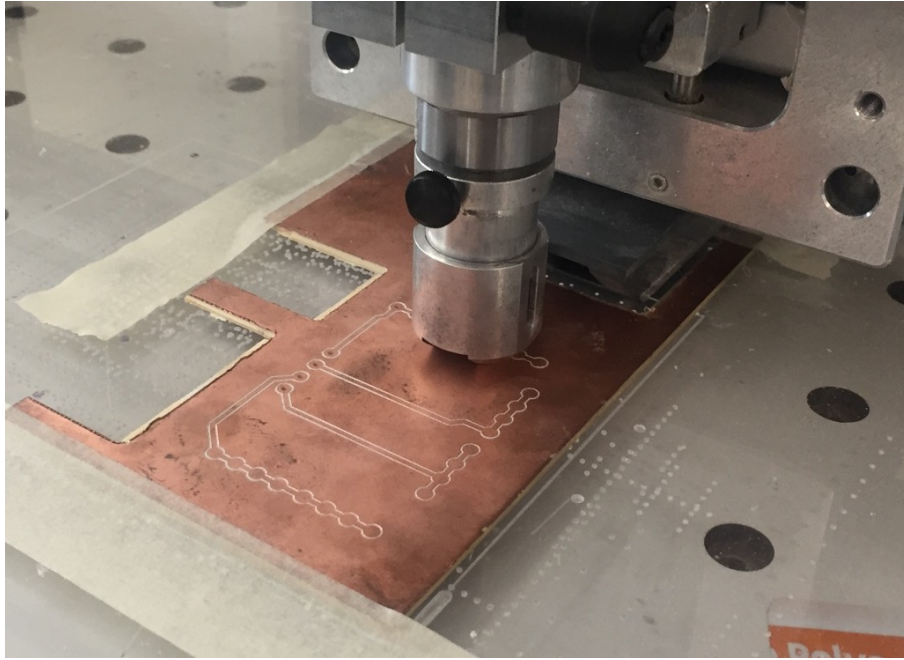


Ilustración 30 Impresión PCB de la alimentación

5.2.5 Plan de Pruebas de Hardware

En el plan de pruebas de hardware se analizó cada uno de los módulos que contiene el dispositivo, para lograr un buen funcionamiento de este, debe de pasar cada una de las pruebas. En la siguiente tabla se muestra la prueba que se realizó en cada módulo del dispositivo (Tabla 14 Plan de Pruebas Hardware).

Prueba	Nombre	Descripción
CP-HW-001	Verificar fuente de alimentación	El usuario final será el indicado de revisar que le llegue la alimentación adecuada para el buen funcionamiento del dispositivo.
CP-HW-002	Botón de encendido	El usuario final será el indicado de encender el dispositivo, con el botón de encender, cambiará el color del botón a verde.
CP-HW-003	Estatus de la Centrifugadora	El usuario final visualizará en una pantalla las especificaciones y movimientos que realiza la centrifugadora.
CP-HW-004	Estatus del Espectrofotómetro	El usuario final visualizará en una pantalla las especificaciones y movimientos que realiza el espectrofotómetro.
CP-HW-005	Estatus de la Incubadora	El usuario final visualizará en una pantalla las especificaciones y movimientos que realiza la incubadora.
CP-HW-006	Conexión de Arduino a Raspberry	El Arduino deberá de mandarle información a la Raspberry, del estado de los componentes y de los valores en voltaje del sensor OPT101.
CP-HW-007	Conexión de Raspberry a la Base de Datos	La Raspberry debe de enviar los datos a la base de datos, para así, obtener los datos en la aplicación WEB.
CP-HW-008	Conexión a Internet	La Raspberry debe de estar conectada a una red Wifi o conectarla por cable Ethernet. Para así, mandar los datos al servidor.

Tabla 14 Plan de Pruebas Hardware

Para consultar cada una de las pruebas de hardware, se encuentran en anexos (Anexos 8.4.2 Plan Pruebas Hardware).

5.2.6 Historial de Versiones Programación de Hardware

En este módulo se muestran las diferentes versiones de la programación de cada uno de los elementos que componen el sistema de InfoBlood.

Se especifica el nombre del módulo, la versión, fecha y descripción; tal como se muestra a continuación:

Nombre	Versión	Fecha	Descripción
Espectrofotómetro	1.0	01/09/2018	Verificar si el sensor OPT101 manda valores
	1.1	10/09/2018	Programación de longitudes de onda a valores RGB
	1.2	21/10/2018	Inclusión del modelo matemático (Irradiancia)
	1.3	26/10/2018	Comunicación del Arduino a la Raspberry
	1.4	03/11/2018	Comunicación con la API del sistema Web Integración de botones
	1.5	06/11/2018	Programación de tiempos para la toma de muestras
Centrifugadora	1.0	12/09/2018	Programación del motor Brushless
	1.1	20/10/2018	Programación de aumento y decremento de RPM
Incubadora	1.0	06/10/2018	Programación de la placa de Peltier
	1.1	03/11/2018	Programación del motor reductor
Sistema InfoBlood	1.0	20/11/2018	Unificación de código en uno solo

Tabla 15 Historial de versiones de programación Hardware

Para consultar el código vaya a la unidad del disco y dentro de la carpeta Código Hardware y Software se encuentra toda la codificación y versiones de cada módulo.

5.3 Análisis Químico

La utilización de la espectrofotometría es fundamental para la realización de este proyecto; la cual consiste en un método científico utilizado para medir cuánta luz absorbe una sustancia química, en este caso, el valor arrojado servirá para poder determinar los valores de creatinina lo cual permitirá el cálculo del índice de filtrado glomerular y apoyará al médico en la toma de decisiones respecto al tratamiento del paciente.

A continuación se muestra el plan de pruebas química con el objetivo de calibrar y probar la calidez y eficiencia de nuestro sistema hardware.

5.3.1 Plan de Pruebas de Química

En el plan de pruebas de química se tomaron tres diferentes módulos de pruebas, centrifugadora, incubadora y espectrofotómetro. En la siguiente tabla (Tabla 16 Plan de Pruebas Química) se muestra la prueba que se realizó en cada uno de los módulos.

Prueba	Nombre	Descripción
Calibración del Espectrofotómetro		
CP-QA-001	Control de la exactitud fotométrica	La exactitud fotométrica se determina comparando la absorbancia de una solución de referencia con la lectura de ésta, obtenida en el espectrofotómetro.
Centrifugadora		
CP-QA-002	Verificar la Revoluciones Por Minuto	Comprobar las revoluciones por minuto de la centrifugadora propuesta con un tacómetro digital.
CP-QA-003	Centrifugación de la sangre	Comprobar que se produzca la separación de los componentes de la sangre para la obtención del suero con la centrifugadora propuesta vs centrifugadora que existe en el mercado (Centrifuge Z-206-A).
CP-QA-004	Verificar la temperatura de la muestra	Comprobar la temperatura de la muestra con un termómetro.

Tabla 16 Plan de Pruebas Química

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

Trabajo Terminal 1

- ✓ Se realizó la especificación de requisitos de software (SRS) donde se especificaron los requerimientos no funcionales y requerimientos funcionales.
- ✓ Se identificaron los datos necesarios para la construcción del sistema y se logró la realización del modelo de datos del sistema.
- ✓ Se logró la construcción del diagrama de actividades donde se logró observar las distintas actividades de interacción que existen entre el usuario final y el sistema.
- ✓ Durante la construcción del diagrama de clases; se logró la definición de cómo se estructurará el proyecto en cuanto a los diferentes métodos que llevará cada clase dentro del sistema y de cómo los datos fluirán para su funcionamiento.
- ✓ Se construyeron y definieron los distintos planes de pruebas necesarios para las diferentes áreas de oportunidad en el proyecto (SW, HW, QA)
- ✓ Utilizando la herramienta Balsamiq Mockups se logró la construcción de prototipos no funcionales donde se definió un estándar de diseño para las distintas vistas que tendrá el sistema.
- ✓ Utilizando la herramienta Multisim se logró la construcción de diferentes diagramas donde se especifica la estructura de los circuitos eléctricos necesarios para el sistema.
- ✓ Durante en la investigación se determinó que la reacción de Jaffé es la más adecuada para lograr el análisis de la creatinina en suero.

Trabajo Terminal 2

- ✓ Se aprendió el uso de node js para el manejo y construcción del back-end del sistema.
- ✓ Se determinó que el uso de node js era adecuado para las necesidades presentadas por el sistema en cuanto al manejo de base de datos, tiempos de respuestas para el back- end y seguridad del sistema.
- ✓ Utilizando el módulo de node js “mysql-json” se logró la construcción de las APIS que manejan el sistema y la comunicación armoniosa con la base de datos.
- ✓ Se determinó que el uso del framework DevExtreme era la mejor opción para la construcción de los widgets del sistema y validaciones en los campos dentro de los formularios de las vistas.
- ✓ Se logró la construcción de las vistas del sistema con el uso del motor de plantillas de alto rendimiento; Jade.
- ✓ Se implementó un servidor de sockets web con el módulo en node js socket.io para lograr la comunicación en tiempo real con el dispositivo hardware en cuanto éste termine de analizar las muestras sanguíneas.
- ✓ Se utilizó el módulo de node js moment para el manejo y validación de información de fechas proveniente del front-end al back-end.
- ✓ Se utilizó node js para lograr el control de persistencia del sistema.
- ✓ Se utilizó angular js para lograr la actualización en tiempo real de los widgets en las vistas del sistema.
- ✓ Como es de esperarse nuestro proyecto tuvo complicaciones que no estaban contempladas sobre todo se dieron en la parte del espectrofotómetro, sin embargo, gracias a la oportuna detección se pudo corregir los errores con el plan de pruebas química.
- ✓ Dentro de la elaboración de este proyecto se ha observado la importancia de la integración de los conocimientos impartidos en esta institución académica, puesto que dicho proyecto integra química, electrónica, física y desarrollo de software, teniendo también la ventaja de contener un aspecto social ya que esta dirigido a pacientes con hemodiálisis para mejorar su calidad de vida.

Cronograma original vs Cronograma Actual

Trabajo Terminal II			Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre		
#	Actividades	Dependencias	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3
1	Adquisición de materiales para la realización de centrifugadora		█																						
2	Construcción de la centrifugadora	1					█	█	█	█															
3	Pruebas (Toma de muestras de sangre)	2								█	█														
4	Junta con los asesores	3									█	█													
5	Adquirir materiales extras		█																						
6	Adquisición de reactivos		█																						
7	Adquirir Sensor de color		█																						
8	Construcción de la base	5_6_7					█	█																	
9	Construcción disp. De lectura de muestras sanguíneas	8						█	█	█	█														
10	Pruebas (Tomas de muestra con reactivos)	9								█	█														
11	Junta con los asesores	10									█	█													
12	Junta con el médico	11										█	█												
1	Hacer pruebas												█	█											
2	Comparación de las pruebas de nuestro sistema vs laboratorio	1												█	█										
3	Junta con los asesores	2													█	█									
4	Junta con el médico	2														█	█								
5	Construcción total de la base de datos									█	█	█	█												
6	Junta con asesores	5												█	█										
7	Conexión del dispositivo de lectura a la Raspberry	5													█	█	█	█							
8	Conectar la base de datos de la Raspberry	6_7														█	█								
9	Configurar el dispositivo	7_8															█	█							
10	Construcción de sistema de alerta																	█	█						
11	Pruebas	10																	█	█					
12	Junta con el asesor	11																		█	█				
13	Implementar diseño del sistema Web																				█	█	█		
14	Conexión a la base de datos	13																				█	█		
15	Implementar seguridad (Login)	14																					█	█	
16	Pruebas	15																						█	█
17	Junta con asesores	16																							█
1	Adquisición de materiales base		█																						
2	Unir todos los módulos	2																			█	█	█		
3	Pruebas de estrés Software y Hardware	3																				█	█	█	
1	Pruebas del sistema																						█	█	█
2	Junta con los asesores	1																						█	█
3	Junta con el médico	2																							█
1	Preparación para Examen																								█

Tabla 17 Cronograma original

Trabajo Terminal II			Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
#	Actividades	Dependencias	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
1	Adquisición de materiales para la realización de centrifugadora																									
2	Construcción de la centrifugadora	1																								
3	Pruebas (Toma de muestras de sangre)	2																								
4	Junta con los asesores	3																								
5	Adquirir materiales extras																									
6	Adquisición de reactivos																									
7	Adquirir Sensor de color																									
8	Construcción de la base	5_6_7																								
9	Construcción disp. De lectura de muestras sanguíneas	8																								
10	Pruebas (Tomas de muestra con reactivos)	9																								
11	Junta con los asesores	10																								
12	Junta con el médico	11																								
1	Hacer pruebas																									
2	Comparación de las pruebas de nuestro sistema vs laboratorio	1																								
3	Junta con los asesores	2																								
4	Junta con el médico	2																								
5	Construcción total de la base de datos																									
6	Junta con asesores	5																								
7	Conexión del dispositivo de lectura a la Raspberry	5																								
8	Conectar la base de datos de la Raspberry	6_7																								
9	Configurar el dispositivo	7_8																								
10	Construcción de sistema de alerta																									
11	Pruebas	10																								
12	Junta con el asesor	11																								
13	Implementar diseño del sistema Web																									
14	Conexión a la base de datos	13																								
15	Implementar seguridad (Login)	14																								
16	Pruebas	15																								
17	Junta con asesores	16																								
1	Adquisición de materiales base																									
2	Unir todos los módulos	2																								
3	Pruebas de estrés Software y Hardware	3																								
1	Pruebas del sistema																									
2	Junta con los asesores	1																								
3	Junta con el médico	2																								
1	Preparación para Examen																									

Tabla 18 Cronograma Actual

Capítulo VII: Fuentes de Consulta

- [1] A. Méndez-Durán, J. F. Méndez-Bueno, T. Tapia-Yáñez, A. M. Montes, and L. Aguilar-Sánchez, “Epidemiología de la insuficiencia renal crónica en México,” *Diálisis y Trasplante*. [Online]. Available: <http://www.elsevier.es/es-revista-dialisis-trasplante-275-articulo-epidemiologia-insuficiencia-renal-cronica-mexico-S1886284510700047>. [Accessed: 04-Oct-2017].
- [2] Contreras, Françoise; Esguerra, Gustavo; Espinosa, Juan Carlos; Gutiérrez, Carolina; Fajardo, Laura, “Calidad de vida y adhesión al tratamiento en pacientes con insuficiencia renal crónica en tratamiento de hemodiálisis,” *Universitas Psychologica*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/html/647/64750305/>. [Accessed: 04-Oct-2017].
- [3] “Un portal de salud del Col·legi d'Infermeres i Infermers de Barcelona,” *SISTEMA URINARIO: ANATOMÍA*. [Online]. Available: [https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/103/Sistema urinario.pdf?1358605607](https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/103/Sistema%20urinario.pdf?1358605607). [Accessed: 08-May-2018].
- [4] J. E. Hall and A. C. Guyton, *Tratado de fisiología médica: Guyton & Hall*. Barcelona: Elsevier, 2011.
- [5] “ENFERMEDAD RENAL,” *genfar*. [Online]. Available: <https://www.genfar.com.co/enfermedad-renal/>. [Accessed: 08-May-2018].
- [6] Traynor J, Mactier R, Geddes CENTÍMETRO CÚBICO, Fox JG. Cómo medir la función renal en práctica clínica. *BMJ* 2006; 333 (7571): 733-737
- [7] “Función Renal de Medición,” *News-Medical.net*, 03-Aug-2017. [Online]. Available: [https://www.news-medical.net/health/Measuring-renal-function-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Measuring-renal-function-(Spanish).aspx). [Accessed: 08-May-2018].
- [8] H. García and N. Calvanese, "Calidad de vida percibida, depresión y ansiedad en pacientes con tratamiento sustitutivo de la función renal," *Calidad De Vida Percibida, Depresión y Ansiedad En Pacientes Con Tratamiento Sustitutivo De La Función Renal*, 2008.
- [9] “VALORACIÓN DEL PACIENTE PRE- Y POST-HEMODIALIZADOS CON LA DETERMINACIÓN DE UREA Y CREATININA: Laboratorio Central julio a diciembre de 2009,” *Revistas Bolivianas- Scientific Electronic Library Online*.

- [Online]. Available: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2075-61942010000300004&script=sci_arttext. [Accessed: 08-May-2018].
- [10] P. DZendejas-Villanueva and L. L, “Costos directos de la hemodiálisis en unidades públicas y privadas,” *Salud Pública de México*. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342011001000016. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [11] “Salud Femenina,” *MDSade*. [Online]. Available: <https://www.mdsade.com/es/2015/10/creatinina-y-urea.html>. [Accessed: 08-May-2018].
- [12] “Hemodiálisis,” *National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases*. [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/metodos-tratamiento-insuficiencia-renal-hemodialisis>. [Accessed: 08-May-2018].
- [13] “Nova Biomedical Develops, manufactures, and sells analyzers in six worldwide market areas: Hospital Point-of-Care Meters and Test Strips Hospital Blood Gas and Critical Care Analyzers Chemistry and Cell Analyzers for Biotechnology Self-Testing Diabetes Monitoring Systems Medical Product Design and Manufacturing Blood Analyzers for Veterinary Medicine,” Nova Biomedical develops, manufactures and sells analyzers in five worldwide market areas. [Online]. Available: <http://www.novabio.us/>. [Accessed: 04-Oct-2017].
- [14] “Nova Biomedical StatSensor | For Sale | LabX Ad LV37612377,” LabX. [Online]. Available: <http://www.labx.com/item/nova-biomedical-statsensor/LV37612377>. [Accessed: 04-Oct-2017].
- [15] “Tiras reactivas creatinina con 25,” Nafarrate. [Online]. Available: <https://www.nafarrate.com/producto/tiras-reactivas-creatinina-con-25/>. [Accessed: 18-Oct-2017].
- [16] “Manual de Bioquímica Clínica_10817,” *depa.fquim.unam.mx*, 2009. [Online]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/MANUALBIOQUIMICACLINICA_10817.pdf. [Accessed: 28-Mar-2018].

- [17]. “Riñón,” Definición Riñón - Doctissimo. [Online]. Available: <http://www.doctissimo.com/mx/salud/diccionario-medico/rinon>. [Accessed: 29-Aug-2017].
- [18] Y. NIDDK, “Los riñones y cómo funcionan,” National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/rinones-como-funcionan>. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [19] “Glomérulo renal,” Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. [Online]. Available: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/532905>. [Accessed: 29-Aug-2017].
- [20] C. S. Empresarial, “Enciclopedia Salud: Definición de Nefrona,” Enciclopediasalud. [Online]. Available: <http://www.enciclopediasalud.com/definiciones/nefrona>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [21] “Creatinina - Definición,” CCM Salud. [Online]. Available: <http://salud.ccm.net/faq/8780-creatinina-definicion>. [Accessed: 29-Aug-2017].
- [22] Rosa-Diez, G. J., Varela, Federico, and Gustavo, “Comparación entre las ecuaciones CKD-EPI y MDRD para la estimación del filtrado glomerular en pacientes con enfermedad renal crónica,” *Medicina (Buenos Aires)*. [Online]. Available: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802011000600003. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [22] Perazzi, Beatriz, Angerosa, and Margarita, “Creatinina en sangre: calidad analítica e influencia en la estimación del Índice de Filtrado Glomerular,” *Acta bioquímica clínica latinoamericana*. [Online]. Available: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572011000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [23] M. G. D. Liendo, “Índice de Filtración Glomerular (IFG renal),” *TuChequeo*, 19-Jun-2017. [Online]. Available: <https://tuchequeo.com/indice-de-filtracion-glomerular-IFG-renal/>. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [22] UMMC, “Examen de creatinina en la sangre,” University of Maryland Medical Center. [Online]. Available: <http://www.umm.edu/health/medical/spanishency/articles/creatinina-en-la-sangre>. [Accessed: 29-Aug-2017].

- [23] A. J. Botella and José García Bermejo M^a, *Manual del auxiliar de farmacia: temario general*. Alcalá de Guadaíra (Sevilla): MAD, 2004.
- [24] Definición y remedios para enfermedad de parénquima renal. [Online]. Available: <http://www.hospitalrenal.com/enfermedad-renal-cronica-tratamiento/188.html>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [25] “Insuficiencia renal,” Definición Insuficiencia renal - Doctissimo. [Online]. Available: <http://www.doctissimo.com/mx/salud/diccionario-medico/insuficiencia-renal>. [Accessed: 29-Aug-2017].
- [26] “Índice de filtración glomerular,” *MedlinePlus enciclopedia médica*. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007305.htm>. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [27] Francoise, Esguerra, Gustavo, J. Carlos, and Fajardo, “QUALITY OF LIFE AND TREATMENT COMPLIANCE IN PATIENTS WITH CHRONIC RENAL INSUFFICIENCY UNDER HEMODIALYSIS TREATMENT,” *Universitas Psychologica*. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-92672006000300005. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [28] “DIALISIS RENAL,” La diálisis renal. [Online]. Available: https://www.uam.es/personal_pdi/medicina/algvilla/fundamentos/rinon/dialisis/dialisis.htm. [Accessed: 29-Aug-2017].
- [29] “Choosing A Treatment For Kidney Failure,” *The National Kidney Foundation*, 14-Jul-2017. [Online]. Available: <https://www.kidney.org/atoz/content/choosingtreat>. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [30] “¿Que Hace un Nefrólogo?,” Hemodilisis El Salvador RSS. [Online]. Available: <http://hemodialisiselsalvador.com/que-hace-un-nefrologo/>. [Accessed: 23-Oct-2017].
- [31] “Diálisis y hemodiálisis,” *MedlinePlus enciclopedia médica*. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000707.htm>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [32] J. W. Valvano and Angel Martínez S. Miguel, *Introducción a los sistemas de microcomputadora embebidos: simulación de motorola 6811-6812*. México: International Thomson, 2004.

- [33] “Raspberry Pi FAQs - Frequently Asked Questions,” Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhatIs>. [Accessed: 10-Oct- 2017].
- [34] “Python,” Wikipedia, 05-Oct-2017. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>. [Accessed: 11-Oct-2017].
- [35] michmorales.m, “Protocolo I2C - Fundamentos de aprendizaje. ¿Cómo funciona? - Clases TBem,” T-Bem | LEARN, 04-Feb-2017. [Online]. Available: <http://learn.teslabem.com/fundamentos-del-protocolo-i2c-aprende/2/>. [Accessed: 10-Oct-2017].
- [36] “ESPECTROMETRIA .COM,” *Espectrometría*. [Online]. Available: <https://www.espectrometria.com/>. [Accessed: 20-Feb-2018].
- [37] “OPT101 (ACTIVE),” *OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier* | TI.com. [Online]. Available: <http://www.ti.com/product/OPT101>. [Accessed: 31-Mar-2018].
- [38] A. Silberschatz, H. F. Korth, and S. Sudarshan, *Fundamentos de bases de datos*. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill, 2014.
- [39] “Centrífuga,” Centrífuga - EcuRed. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Centr%C3%ADfuga>. [Accessed: 11-Oct-2017].
- [40] G. S. A. de C.V., “medigraphic.com,” *medigraphic.com*. [Online]. Available: <http://www.medigraphic.com/>. [Accessed: 31-Mar-2018].
- [41] “Metodología de desarrollo de software.,” Modelo V Ingenieria de Software. [Online]. Available: http://ingenieriadesoftware.mex.tl/61885_Modelo-V.html. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [42] A. Rajan and T. Wahl, *CESAR: cost-efficient methods and processes for safety- relevant embedded systems*. Vienna: Springer, 2013.
- [43] “Casos de uso,” *Definición de Enlace - Significado y definición de Enlace*. [Online]. Available: <https://sistemas.com/casos-de-uso.php>. [Accessed: 13-May-2018].
- [44] *Diagramas de Actividad*. [Online]. Available: <https://www.osmosislatina.com/lenguajes/uml/actividad.htm>. [Accessed: 13-May-2018].
- [45] “Diagrama de clase,” *Lucidchart*, 19-May-2017. [Online]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/es/diagrama-de-clase>. [Accessed: 13-May-2018].

- [46] “Qué es un diagrama entidad-relación,” *Lucidchart*, 17-Apr-2018. [Online]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/es/qué-es-un-diagrama-entidad-relación>. [Accessed: 13-May-2018].
- [47] “Diagramas de componentes de UML: Referencia,” *About Processes and Threads (Windows)*. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/dd409390.aspx>. [Accessed: 13-May-2018].
- [48] “Impresión 3D,” ¿Qué es la impresión 3D? | Tecnología de impresión 3D | Autodesk. [Online]. Available: <https://www.autodesk.mx/solutions/3d-printing>. [Accessed: 23-Oct-2018].
- [49] Lim, L.T., Auras, R. and Rubino, M. (2008) Processing Technology for Poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33, 820-852.
- [50] D. C. Harris, *Análisis químico cuantitativo*, vol. 3^a. Barcelona: Reverté, 2016.
- [51] N. Foundation, “Node.js,” *Node.js*. [Online]. Available: <https://nodejs.org/>. [Accessed: 20-Oct-2018].
- [52] “HTML5 JavaScript Component Suite for Responsive Web Development,” *DevExtreme - HTML5 JavaScript UI Widgets for Angular, Knockout and jQuery by DevExpress*. [Online]. Available: <https://js.devexpress.com/>. [Accessed: 21-Oct-2018].
- [53] J. Sanchez, “Jade Language - Motor de plantillas nodeJS y Preprocesador HTML,” *FrontEnd Labs*, 24-Jul-2014. [Online]. Available: <https://frontendlabs.io/70--jade-language-node-template-engine-and-html-preprocessor>. [Accessed: 21-Oct-2018].
- [54] “Free JavaScript training, resources and examples for the community,” *JavaScript.com*. [Online]. Available: <https://www.javascript.com/>. [Accessed: 21-Oct-2018].
- [55] “3D CAD Design Software,” *Getting Started | SOLIDWORKS*. [Online]. Available: <https://www.solidworks.com/>. [Accessed: 21-Oct-2018].

