Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia, para mejorar el diagnóstico en pacientes ambulatorios con enfermedad renal en la ciudad de Lima – Perú 2020

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Jeampierre Antony MORENO MARCANI

ASESOR

Ricardo YAURI RODRÍGUEZ

Lima, Perú

2021

Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Moreno, J. (2021). *Propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia, para mejorar el diagnóstico en pacientes ambulatorios con enfermedad renal en la ciudad de Lima – Perú 2020*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jeampierre Antony Moreno Marcani
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48037794
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Yauri Rodríguez, Ricardo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41900467
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9884-9317
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Nuñez Zuñiga, Teresa Esther
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08006778
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Chavez Irazabal, Wilbert
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08121733
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho Latitud: 11.9599004 Longitud: -76.9758161,14
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2019 – noviembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Tecnología médica de laboratorio (análisis de muestras, tecnologías para el diagnóstico) https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.02

UNMSM
Firmado digitalmente por PAREDES PENAFIEL Rejis Renato FAU 20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.12.2021 11:57:11 -05:00

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 054/FIEE-EPIE/2021

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia De la **Dra. Nuñez Zuñiga, Teresa** integrado por **Ing. Yauri Rodríguez, Ricardo** y **Mg. Chavez Irazabal Wilbert.**

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. MORENO MARCANI, JEAMPIERRE ANTONY con** código **Nº 12190162** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN ANALIZADOR DE BIOIMPEDANCIA, PARA MEJORAR EL DIAGNOSTICO EN PACIENTES AMBULATORIOS CON ENFERMEDAD RENAL EN LA CIUDAD DE LIMA – PERÚ 2020.**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió **aprobar** otorgándole el calificativo de dieciséis (**16**)

Ciudad Universitaria, 11 de diciembre del 2021

Dra. Nuñez Zuñiga, Teresa
Presidente de Jurado

Ing. Yauri Rodríguez, Ricardo
Miembro de Jurado

Mg. Chavez Irazabal Wilbert
Miembro Jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Madre Miexy Isabel Marcani Benites que siempre creyó en mí y dio todo de si para apoyarme. A mis hermanas Itala y Mitzy, por quienes siempre trato de ser su mejor ejemplo.

Mi padre y mi familia, que me apoyan.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) evidencia la adecuada preparación y desarrollo del profesional, debido a esto en los primeros capítulos se presenta el desarrollo profesional del bachiller, brindando información de este y del entorno donde se desarrolló. El presente TSP pretende demostrar la capacidad teórica y práctica, mostrando la labor del profesional mediante el desarrollo de un trabajo de investigación referente al área donde se desempeñó. El Trayecto del profesional se desarrolló en la empresa JP REHAB S.R.L.

El problema que se abarca en este trabajo es el incremento de pacientes que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima, enfocándose en el diagnóstico médico y explicando el contexto de la problemática que padecen los pacientes. Como solución se plantea la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA), ya que, diversos estudios respaldan su utilidad, debido al rápido análisis, uso sencillo para el usuario (personal médico) y la posibilidad de presentar bajos costos, para este último punto el diseño se centra solo en el ángulo de fase, siendo utilizado como factor de comorbilidad. En este TSP el autor presenta las etapas de la propuesta de diseño, y como se relaciona con la impedancia eléctrica del cuerpo.

Palabras clave: BIA, comorbilidad, insuficiencia renal crónica, bioimpedancia, ángulo de fase.

ABSTRACT

The Professional Sufficiency Work (TSP) shows the adequate preparation and development of the professional, due to this in the first chapters the professional development of the bachelor is presented, providing information about this and the environment where it was developed. This TSP aims to demonstrate the theoretical and practical capacity, showing the work of the professional through the development of a research work related to the area where he worked. The Professional's Journey was developed in the company JP REHAB S.R.L.

The problem covered in this work is the increase in patients suffering from kidney disease in the city of Lima, focusing on medical diagnosis and explaining the context of the problems suffered by patients. As a solution, the design proposal of a bioimpedance analyzer (BIA) is proposed, since several studies support its usefulness, due to the rapid analysis, easy use for the user (medical personnel) and the possibility of presenting low costs, for this Last point, the design focuses only on the phase angle, being used as a comorbidity factor. In this TSP the author presents the stages of the design proposal, and how it relates to the electrical impedance of the body.

Keywords: BIA, comorbidity, chronic renal failure, bioimpedance, phase angle.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ii

RESUMEN iii

ABSTRACT iv

ÍNDICE DE FIGURAS vii

ÍNDICE DE TABLAS ix

CAPÍTULO I: INTRODUCCION 1

1.1. Objetivo del informe 1

CAPÍTULO II: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA 2

2.1. Reseña de la empresa 2

2.2. VISIÓN 2

2.3. MISIÓN 3

2.4. Organización de la Empresa 4

2.5. Área, Cargo y Funciones Desempeñadas 5

2.6. Experiencia Profesional realizada en la organización 5

CAPÍTULO III: ACTIVIDADES DESARROLLADAS 6

3.1. Situación del Problema 6

3.1.1 Determinación del Problema 10

3.1.2 Formulación del Problema 11

3.2 Solución 12

3.2.1 Objetivos 17
Objetivo general 17
Objetivos específicos 17
3.2.2 Alcance 18
3.2.3 Evaluación 22
CAPÍTULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA 41
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42
5.1 Conclusiones 42
5.2 Recomendaciones 42
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFIA 44
6.1 Glosario 52
CAPITULO VII: ANEXOS 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa JP REHAB..... 4

Figura 2. Atenciones en consulta externa por enfermedad renal crónica a nivel nacional Período 2002-2011. Fuente: HIS. MINSA - Oficina General de Estadística e Informática Elaborado por la DGE - MINSA. (Loza & Ramoz, 2016) 8

Figura 3. Proporción de muertes por enfermedad renal crónica (CIE-10: N18) para toda la población según sexo a través de los años de estudio. Figura extraída de (Carrillo Larco & Bernabé Ortiz, 2018). 9

Figura 4. Representación cilíndrica. Ley de Pouillet (figura de la izquierda). Figura extraída de (Molina Vega, y otros, 2017); y la representación corporal mediante cilindros (figura de la derecha). Extraído de (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007) 24

Figura 5. Circuito bioeléctrico. Figura extraída de (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 105) 25

Figura 6. Voltaje e intensidad de corriente en circuitos de corriente alterna. Figura extraída de (Sánchez Iglesias, Fernández Lucas, & Teruel, 2012) 26

Figura 7. Relaciones geométricas de los componentes. Extraído de (Molina Vega, y otros, 2017)..... 27

Figura 8. Diagrama del oscilador Colpitts. Diagrama realizado por el autor, utilizando el programa NI Multisim. 29

Figura 9. Frecuencia de resonancia obtenidos por ajuste de $C2$, simulado en el programa NI Multisim 14.0. Figura realizada por el autor. 30

Figura 10. Circuito regulador de voltaje, simulado en IN Multisim por el autor. 30

Figura 11. Fuente de corriente Howland diseñado. Figura realizada por el autor..... 31

Figura 12.Circuito elevador de voltaje. Figura realizada por el autor. 32

Figura 13. Configuración del filtro activo diseñado en la página ANALOG FILTER WIZARD para una señal de 50KHz. 33

Figura 14. Circuito del filtro activo, obtenido de la página ANALOG FILTER WIZARD..... 34

Figura 15. Muestreo de una señal. Figura extraída de (JURADO , 2016) 35

Figura 16. Error de cuantización. Figura extraída de (Arduino, 2015) 36

Figura 17. Error de cuantización. Figura extraída de información extraída de (Arduino, 2015) 37

Figura 18. Posición Decúbito Supino. Figura extraída de (Sánchez, 2015).. 39

Figura 19. Ubicación de los electrodos en el pie (A) y en la mano (B). Figura extraída de (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007) 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de muertes por ERC en la región de lima. Información extraída del trabajo realizado por (Carrillo Larco & Bernabé Ortiz, 2018, pág. 411) ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 2. Modelos y sus respectivos precios de los equipos InBody ..... **¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO I: INTRODUCCION

1.1.Objetivo del informe

Este informe describe la trayectoria profesional que ha desarrollado el egresado durante un periodo de tiempo mayor a dos años, así como los conocimientos adquiridos, además de brindar información de la empresa donde se realizó la trayectoria profesional.

Siendo la especialidad de ingeniería biomédica donde se desarrolló el profesional. El informe se conforma de diversos puntos en los que se habla sobre el conocimiento adquirido, detallando información sobre la empresa donde se desarrolló el profesional y el área donde se desempeñó el profesional, y finalmente un balotario realizado por el encargado donde se califica el transcurso profesional que realizado el profesional.

CAPÍTULO II: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA

2.1. Reseña de la empresa

La empresa JP REHAB, se presenta como “una empresa dedicada a la importación, comercialización y soporte técnico de los equipos de rehabilitación y estética; atendiendo tanto al sector público como al sector privado. Representando las marcas internacionales más importantes del rubro de rehabilitación y estética” (JP REHAB, 2011).

Razón social: JP REHAB S.R.L.

Dirección postal: Calle los Faisanes 114-118 Surquillo, Lima, Lima. 15047

Correo electrónico del profesional a cargo:
Gerente general: Pinto Lagos Jorge Luis Martin
jpinto@jprehab.com

2.2. VISIÓN

La empresa JP REHAB presenta su visión como: “consolidarnos como una empresa líder en la comercialización de equipos y mobiliario médico a nivel nacional, contando con el compromiso íntegro de cada uno de nuestros

trabajadores, logrando la satisfacción total de nuestros clientes” (JP REHAB, 2011).

2.3. MISIÓN

La empresa JP REHAB plasma su visión como: “una empresa que ofrece equipos y mobiliario médico de excelente calidad, acompañado de un óptimo servicio de venta y post venta, buscando la innovación tecnológica y precios competitivos para la satisfacción total del cliente” (JP REHAB, 2011).

2.4. Organización de la Empresa

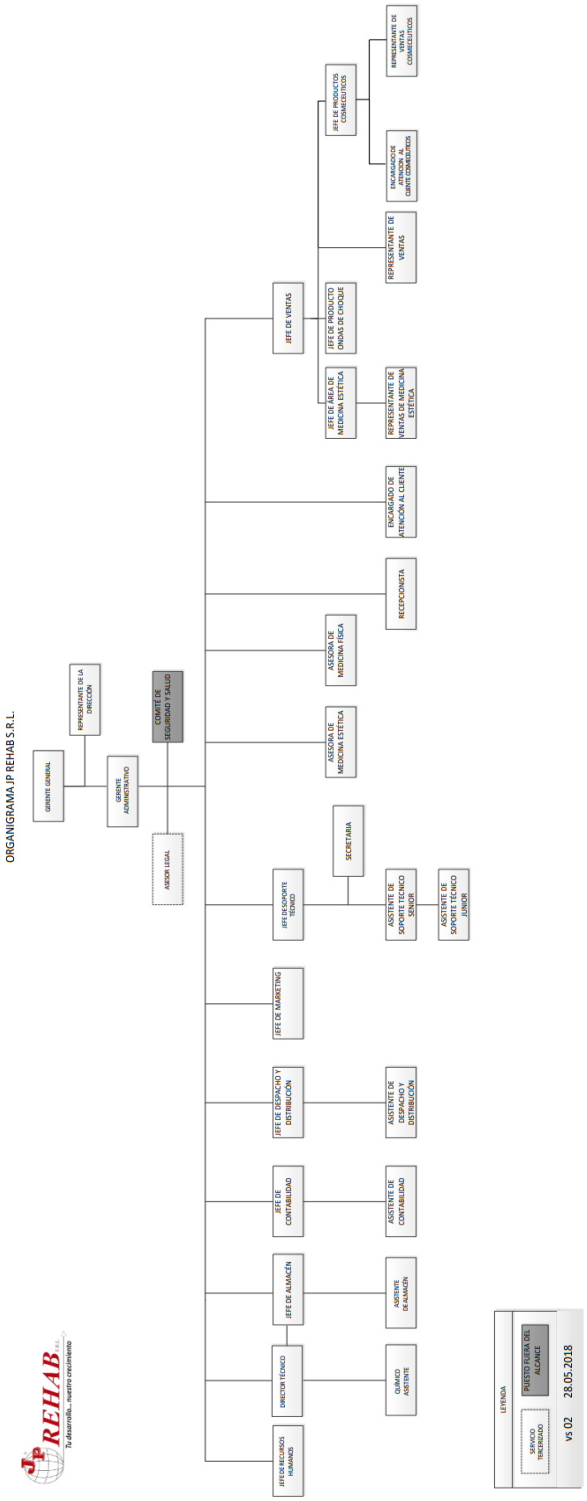

Figura 1. Organigrama de la empresa JP REHAB.

2.5. Área, Cargo y Funciones Desempeñadas

Área: Ingeniería y soporte técnico.

Cargo: asistente en ingeniería Junior.

Funciones: El área de ingeniería y soporte técnico brinda el servicio de capacitación, instalación, calibración de parámetros, mantenimiento y evaluación de equipos biomédicos de las marcas representadas por la empresa.

-Capacitación técnica y uso de los equipos médicos representados.

-Cumplimiento del plan de preventivo programado a nivel nacional.

-Cumplimiento de los mantenimientos correctivos a nivel nacional.

-Constante dialogo con los usuarios, brindar apoyo a los clientes y enseñanza del adecuado manejo de los equipos médicos representados.

- Instalación de los equipos biomédicos que representa la empresa a nivel nacional.

- Capacitación constante sobre los equipos con el fabricante.

2.6. Experiencia Profesional realizada en la organización

Conocimientos teóricos y practico sobre los equipos que representa la empresa, siendo los equipos en medicina física, rehabilitación, deportiva y de estética. Constante dialogo y capacitación, ya sea a personal medico o especialistas del área de ingeniería de los diversos centros médicos.

Jefe del área de ingeniería y soporte técnico: Ingeniero Herrera Medina Miguel Angel.

Correo electrónico: mherrera@jprehab.com

Número de teléfono: 989 285 698

CAPÍTULO III: ACTIVIDADES DESARROLLADAS

3.1. Situación del Problema

La enfermedad renal presenta como caso graves a la insuficiencia renal crónica (IRC), que es “el deterioro constante e irreversible del filtrado glomerular (FG), esto se expresa en una reducción del aclaramiento de creatinina estimado < 60 ml/min/1.73m2, este deterioro es variable pudiendo demorar años” (Gómez Carracedo, Arias Muñana, & Jiménez Rojas, 2007, pág. 637), también se cataloga como IRC a “la presencia de daño renal persistente durante al menos 3 meses, progresiva e irreversible del número de nefronas con la consecuencia en la incapacidad renal para llevar a cabo funciones depurativas, excretoras, reguladoras y endocrinometabólicas” (Gómez Carracedo, Arias Muñana, & Jiménez Rojas, 2007, pág. 637). “Siendo la creatina una sustancia de desecho del metabolismo muscular que es eliminado por los riñones. Los proveedores usan la cantidad de creatinina en su sangre para estimar su tasa de filtración glomerular (siglas en inglés GFR)” (NIDDK).

La enfermedad renal presenta un gran impacto en la sociedad y económico, debido a que, de no ser detectada y tratada a tiempo, el deterioro constante puede ser irreversible (enfermedad renal crónica - ERC), ocasionando un incremento constante de pacientes, y con el tiempo llegar a la gravedad de presentar un fallo renal “ donde el FG < 15 ml/min/1,73 m2, y necesitando de diálisis peritoneal/hemodiálisis o trasplante renal” (Gómez Carracedo, Arias Muñana, & Jiménez Rojas, 2007, pág. 639). El necesitar diálisis significa la perdida de la función renal (insuficiencia renal), siendo un tratamiento de por vida

y de alto costo, donde la única alternativa es el trasplante de riñón que es muy escaso.

A nivel mundial, la ERC “presenta un gran impacto, pese a ser la enfermedad crónica más olvidada. Debido a que las causas, consecuencias y costes afectan la política de salud pública en todos los países” (Luyckx, Tonelli, & Stanif, 2018, pág. 1). “En el 2019 la ERC era la sexta causa de muerte de más rápido crecimiento, con una población estimada de 850 millones, provocando 2.4 millones de muertes al año” (World Kidney Day, 2019). Según World Kidney Day (2019), “factores como la condición de pobreza, contaminación, riesgos laborales y carencia de educación influyen en el aumenta de la frecuencia de los casos de enfermedad renal”.

A nivel de América Latina, se afrontan problemas como la accesibilidad a centros de salud que padece la población vulnerable, y por consiguiente la accesibilidad a los diagnósticos y tratamientos médicos necesarios. La OPS (Organización Panamericana de la Salud) y la SLANH (Sociedad Latinoamericana de Nefrología e Hipertensión), resaltan el problema de las poblaciones alejadas de ciudades o centros médicos, ya que, “genera dificultades en la accesibilidad y a la atención adecuada, además de los costos del tratamiento y la inversión pública que cada país asigna para afrontar este problema” (2015). Como una de las estrategias para reducir el incremento de la ERC, la SLANH propuso “impulsar la diálisis peritoneal domiciliaria que se aplicaba cerca del 12% de los pacientes en América Latina (…), y plantear como objetivo para el 2019 un acceso del 20% a la diálisis peritoneal” (2015),.

El Perú afronta problemas como la falta de asistencia hospitalaria, la inaccesibilidad a los centros médicos generalmente en las poblaciones alejadas de las ciudades, la escasez de equipos médicos y de análisis especializados para el tratamiento de diálisis, y la falta de especialistas en el área de nefrología frente a la cantidad de pacientes. Del trabajo realizado por (Herrera, Pacheco, & Taype, 2016, pág. 131) se expresa que en el tratamiento de reemplazo renal (TRR), “más del 50% de la población que lo requiere no lo recibe, y en las regiones alejadas el MINSA no cuenta con centros de diálisis en sus hospitales, además de contar

con pocos o ningún nefrólogo", además "existe una tendencia al incremento de la prevalencia nacional de pacientes con ERC; por el contrario, hay una tendencia a la disminución del número de nefrólogos por cada 1000 pacientes con ERC" (Herrera, Atamari, & Flores, 2019, pág. 65).

La figura 1 realizada por el MINSA, se observa que "los pacientes con ERC que acuden a una consulta externa han presentado un aumento del 2002 hasta el 2011, pasando de 4 402 a 14 863 respectivamente" (Loza & Ramoz, 2016, pág. 39). Además, como factor de mortalidad en el 2012 "el 57.3% de muertes es debido a enfermedades no transmisibles, siendo 70.5% ocasionado por diabetes e hipertensión, enfermedades muy relacionadas a la ERC" (Loza & Ramoz, 2016, pág. 43).

Figura 2. Atenciones en consulta externa por enfermedad renal crónica a nivel nacional Período 2002-2011. Fuente: HIS. MINSA - Oficina General de Estadística e Informática Elaborado por la DGE - MINSA. (Loza & Ramoz, 2016)

"La proporción de muertes por ERC en relación al total de los fallecimientos en cada año, ha aumentado desde el 2003 hasta el 2015, siendo la población femenina en mayor proporción" (Carrillo Larco & Bernabé Ortiz, 2018, pág. 411). A partir del 2015 ocurre que "hay una reducción de la prevalencia en ERC,

posiblemente relacionado con la disminución de nefrólogos, ya que, en el 2019 la SOCIEDAD PERUANA DE NEFROLOGIA, reporto 309 nefrólogos, siendo 1.1 nefrólogos pmp, debajo de 20 pmp sugerido por la OPS" (Herrera, Atamari, & Flores, 2019, pág. 65), siendo pmp (prevalencia por millón de población).

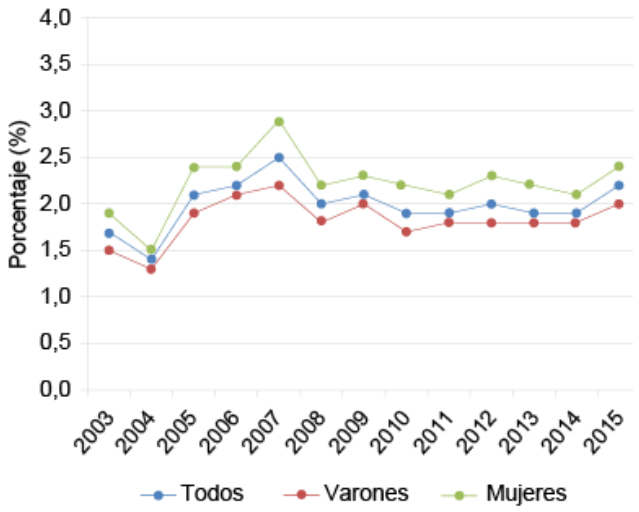

Figura 3. Proporción de muertes por enfermedad renal crónica (CIE-10: N18) para toda la población según sexo a través de los años de estudio. Figura extraída de *(Carrillo Larco & Bernabé Ortiz, 2018)*.

A diferencia de las demás regiones, en Lima se presenta una relativa baja tasa de muertes por ERC (tabla 1), para esto debe considerarse que la región de Lima a pesar de contener una gran cantidad de la población nacional, cuenta con una mayor cantidad de especialistas y centros con capacidad para el tratamiento de pacientes con ERC.

Tabla 1

Número de muertes por ERC en la región de lima. Información extraída del trabajo realizado por (Carrillo Larco & Bernabé Ortiz, 2018, pág. 411)

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
%	1.3	1.0	2.3	2.4	2.7	1.6	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.8

Uno de los principales problemas es el adecuado y pronto diagnóstico de los pacientes, donde se observa que “en el 2015 el despistaje para la ERC en pacientes diabéticos fue pobre en el Perú” (Herrera, Pacheco, & Taype, 2016, pág. 134), evidenciando las carencias, donde “en el 2014 el 81.5% de pacientes evaluados para descartar una enfermedad renal reportaron no haber presentado un examen de función renal, además de recibir el diagnóstico de forma tardía cuando el paciente debería de haberse sometido a diálisis” (pág. 134). Este problema del aumento en pacientes con ERC, se le suma la carencia de especialistas, donde “la cantidad de especialistas (Nefrólogos) disponibles en relación a la población enferma no es suficiente, evidenciando escases de especialistas” (pág. 134), al no tener suficientes especialistas la ERC sigue empeorando hasta llegar a IRC o al punto de fallo renal.

3.1.1 Determinación del Problema

La insuficiencia renal crónica (IRC) causa un gran impacto en la sociedad y economía peruana, teniendo como su principal problema el diagnostico, ya que, los escasos especialistas que realizan este diagnóstico y la inaccesibilidad de los centros médicos que contienen los instrumentos adecuados para el diagnóstico, ocasionan un incremento y deterioro constante de pacientes, llegando al punto que estos pacientes padezcan fallo renal y necesitando de diálisis o un trasplante de riñón. Como una solución se propone el uso del análisis por bioimpedancia, ya que, en esta alternativa estos dispositivos permiten analizar de forma veloz

(unos minutos), presentar bajo costo (respecto a otros métodos de análisis) lo que permite una aplicación más amplia de pacientes, y de uso sencillo para el usuario ocasionando no requerir de un personal especializado en el uso de este equipo. Siendo los pacientes ambulatorios afectados por este problema en el diagnóstico, debido a que “son los pacientes ambulatorios los que visitan un establecimiento de salud por diagnósticos o tratamientos sin pasar la noche en el mismo” (NIH)

3.1.2 Formulación del Problema

Problema general.

¿De qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020?

Problemas específicos.

¿De qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el identificar los signos de los pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima –Perú 2020?

¿De qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el identificar los síntomas de los pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020?

¿De qué manera la propuesta de diseño para conocer las propiedades eléctricas del cuerpo, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020?

¿De qué manera la propuesta de diseño para conocer la composición corporal de los diferentes tejidos, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020?

¿De qué manera la propuesta de diseño para conocer el contenido total de agua en el cuerpo, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020?

3.2Solución

El obtener datos de la composición corporal es de gran utilidad, debido a que obtienes información como el nivel agua corporal, la masa no grasa, la masa grasa o la masa celular. Uno de los métodos para obtener esta información sobre la composición corporal es el análisis por bioimpedancia (BIA-Bioelectrical impedance analysis), ya que “el BIA permite el análisis de la composición corporal, la evaluación del estado de hidratación y nutricional, además de ser no invasiva, de gran precisión y de corto período de tiempo para obtener datos de manera fiable” (Quesada, León , Betancourt, & Elizabet , 2016, pág. 565).

Siendo que el análisis de la composición corporal presenta métodos como el “método directo (disección de cadáveres) que es de aplicación limitada, y el método indirecto (tomografía axial computarizada, resonancia magnética nuclear, absorcimetría dual de rayos x o plestimografía) que requiere de equipo y personal especializado” (Costa , Alonso, Patrocinio de Oliveira, Candia, & De Paz, 2015, pág. 388), y los métodos doblemente indirecto donde pertenece el BIA siendo este más preciso que la antropometría, “los métodos doblemente indirectos son técnicas IN VIVO, validados por los métodos indirectos (son de alta fiabilidad) y con un margen de error a comparación de estos” (Costa , Alonso, Patrocinio de Oliveira, Candia, & De Paz, 2015, pág. 390).

El uso del BIA fortalecería el diagnostico medico realizado a los pacientes con una ERC, donde “el diagnóstico es un proceso inferencial, realizado a partir de un "cuadro clínico", destinado a definir la enfermedad que afecta a un paciente”

(Herrera Galiano & Serra Valdés, 2011, pág. 127). El médico mediante consultas al paciente elabora una hipótesis, y luego mediante pruebas (si lo requiere) realizadas al paciente logra deducir la enfermedad, y con esto poder establecer un tratamiento eficaz. “Llamamos diagnóstico al arte de identificar una enfermedad a través de los signos y síntomas que el paciente presenta” (Coronado Hurtado, 2015, pág. 70), esta relación que van adquiriendo los síntomas y signos se les conoce como síndrome.

“El diagnóstico médico se establece a partir de síntomas, signos y los hallazgos de exploraciones complementarias” (EcuRed). Donde los síntomas son la exposición del paciente sobre sus dolencias o problemas fisiológicos, siendo un interrogatorio que realiza el médico para extraer la mayor cantidad de información, según Díaz, Gallego y León (2006) explican que, “la descripción detallada de los síntomas nos orienta y nos permite descartar un número grande de posibilidades” (pág. 2), “esta exploración subjetiva por parte del paciente es una manifestación de una enfermedad o de un síndrome que solo es percibida por el individuo que lo padece” (Nuria Viver, 2016).

Los signos son los hallazgos que obtiene el medico de forma objetiva, es decir, acorde a su juicio y a las observaciones que realiza. “El signo es posterior al interrogatorio, cuando ya se tiene una sospecha diagnóstica, se busca todos los datos físicos que pueda producir dicha enfermedad” (Díaz Novás, Gallego Machado, & León González, 2006, pág. 3). La observación en muchos casos no es suficiente o requiere de un apoyo para realizar el diagnostico adecuado del paciente, por ello, existen técnicas para obtener signos más significativos, como la exploración física/semiotecnia, o mediante exploraciones complementarias. “Esta manifestación de un signo puede ser espontáneo o provocado por una maniobra exploradora” (Nuria Viver, 2016). Podemos indicar que los signos físicos son ¨marcas¨ objetivas y verificables de la enfermedad y representan hechos sólidos e indiscutibles” (Díaz Novás, Gallego Machado, & León González, 2006, pág. 2), donde la exploración física son las maniobras que realiza el médico, estos pueden ser mediante el tacto o palpar, el oler, mediante sonidos producido por toques o golpecitos (percusión), mediante sonidos detectados por

algún instrumento (auscultación) como un estetoscopio, o por inspección (observación). “El diagnóstico médico utiliza técnicas de exploración física y pruebas diagnósticas complementarias” (Rubio Sevilla, 2014, pág. 25), si no se ha llegado a la certeza de conocer la patología, se procede a utilizar otros métodos para obtener información, siendo estos conocidos como métodos complementarios, “podemos decir que las exploraciones complementarias son herramientas de la historia clínica que comprenden los datos de exámenes de laboratorio, diagnóstico por imágenes y técnicas especiales” (Antúnez Baró , 2013, pág. 3).

El diagnostico medico requiere del criterio del médico, pero en casos como el diagnostico de una enfermedad renal requiere de otras herramientas para obtener mayor información. Del trabajo realizado por Quesada, León, Betancourt y Elizabet (2016), resalta la utilidad del BIA en “el análisis de la composición corporal, la evaluación del estado de hidratación y nutricional, además de ser no invasiva, de gran precisión y corto período de tiempo para obtener datos de manera fiable” (pág. 565), donde tanto la información como los beneficios en su uso (tiempo y no ser invasiva) son importantes y resaltante sobre otros métodos.

Se han realizado estudios sobre pacientes con ERC y el uso del BIA, resaltando la utilidad del BIA, “debido al gran impacto que tiene como factor de riesgo de morbimortalidad, siendo destacado por su sencillez, coste, inmediatez, capacidad de repetición e inocuidad al paciente” (López, 2011, pág. 630), siendo la morbimortalidad la tasa de muertes de una enfermedad en una población y en tiempo determinados. El BIA proporciona información de la masa corporal mediante la impedancia corporal, es decir, la reacción que tiene la masa corporal a una corriente eléctrica determinada, de esta relación de obtienen diversos parámetros, y uno de estos se conoce como el ángulo de fase, según Caravaca, Martìnez, Villa, Gallardo y Ferreira (2011) “el ángulo de fase se relaciona con el pronóstico vital no sólo en los pacientes en diálisis sino también en otros procesos patológicos crónicos, además junto con el índice de comorbilidad son los mejores determinantes de la mortalidad a corto plazo” (pág. 542), siendo la comorbilidad cuando dos o más enfermedades ocurren en la misma persona.

A nivel nacional se han realizado trabajos de investigación evaluando la utilidad del BIA, como el realizado en del Hospital Guillermo Almenara Irigoyen por los autores Cubas y Espinoza (2019), donde concluyen que “es recomendable el uso del BIA como protocolo en todas las unidades de hemodiálisis, debido a que proporciona información sobre la composición corporal con facilidad de uso, y por la inmediatez de los resultados” (pág. 20).

Para realizar un diagnóstico y monitorear una enfermedad renal, los médicos utilizan dos tipos de exámenes, siendo “un examen de sangre que evalúa como los riñones están filtrando la creatinina en su sangre, llamada GFR (sigla en inglés de tasa de filtración glomerular), siendo que más creatinina evidencia mayor enfermedad en los riñones” (NIDDK), debido a que el daño renal es irreversible siendo que no es posible aumentar el GFR, el otro tipo de examen es “un examen de orina para detectar albúmina. Siendo la albúmina una proteína en la sangre, donde los riñones impiden que la albumina pase a la orina. Además, que un riñón dañado deja pasar un poco de albumina” (NIDDK), este tipo de examen se realiza de dos formas, por “examen de tira reactiva para albúmina, que sumerge una cinta en orina y cambia de color al contacto con albumina; y el cociente de albúmina-creatinina en la orina (UACR), que evalúa la cantidad de albumina respecto a la de creatinina” (NIDDK).

El diagnóstico de pacientes con ERC, ya sea, el análisis de muestras en laboratorio (análisis de sangre y orina) que requieren equipos de análisis y especialistas que los utilicen, o el uso de una tira reactiva que es de usos limitados y solo para detectar la presencia de albumina, presentan problemas como el costo del análisis, la disponibilidad de equipamiento de laboratorio o insumos, disponibilidad de personal capacitado para utilizar el equipamiento, limitada cantidad de centros especializados, y la falta de especialistas (nefrólogos) frente a la creciente población. En ese sentido, el uso del análisis por bioimpedancia ha ganado gran interés en el diagnóstico de pacientes con ERC.

El presenta trabajo presentara una propuesta de diseño de un BIA centrado en el ángulo de fase, mediante la explicación de tres bloques (generación de la señal eléctrica, censado de la señal corporal y la transmisión de la información).

Los equipos médicos utilizados para analizar la masa corporal se encuentran dentro del mercado nacional, para este trabajo se toma como referencia en los costos a los equipos de InBody, ya que, se tiene la información sobre el costo de estos equipos, por medio de consulta a la empresa JP REHAB que representa la marca InBody en Perú (información obtenida en el año 2021). Se expone los diversos modelos y costos (tabla 2) que se presentan al mercado nacional por medio de la empresa JP REHAB.

Tabla 2

Modelos y sus respectivos precios de los equipos InBody

MODELO	PRECIO (dólares)
InBody 770	$ 16 500.00
InBody S10	$ 14 500.00
InBody 570	$ 12 500.00
InBody J30	$ 9 900.00
InBody 370S	$ 9 500.00
InBody 370	$ 8 300.00
InBody 270	$ 5 900.00
InBody 120	$ 2 950.00

La información de los modelos y precios, son obtenidos por consulta a la empresa JP REHAB S.R.L, esta consulta se realizó el mes de marzo del año 2020.

3.2.1 Objetivos

Objetivo general

Probar de qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

Objetivos específicos

Probar de qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el identificar los signos de los pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

Probar de qué manera la propuesta de diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora el identificar los síntomas de los pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

Probar de qué manera la propuesta de diseño para conocer las propiedades eléctricas del cuerpo, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

Probar de qué manera la propuesta de diseño para conocer la composición corporal de los diferentes tejidos, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

Probar de qué manera la propuesta de diseño para conocer el contenido total de agua en el cuerpo, mejora el diagnostico en pacientes ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020.

La propuesta del diseño de un analizador de bioimpedancia (BIA) centrado en el ángulo de fase, mejora significativamente el diagnostico en pacientes

ambulatorios que padecen una enfermedad renal en la ciudad de lima – Perú 2020

3.2.2 Alcance

Hipótesis general y específicos

Del trabajo realizado por Hurtado (2013), que nos menciona lo siguiente: “En la investigación predictiva y en la proyectiva, también se trabajan relaciones de causalidad, por tanto, hay hipótesis de fondo (explicaciones donde se vinculan causalmente los eventos), pero no es necesario formularlas explícitamente porque no se van a verificar”.

Este tipo de trabajo es Proyectiva, debido a que en la investigación proyectiva el investigador desea formular una propuesta o un diseño para cambiar algo o resolver cierta situación, no requiriendo necesariamente de una hipótesis.

Variables

Definición conceptual del Analizador de Bioimpedancia.

Este es un dispositivo que inyecta una corriente eléctrica de amplitud y frecuencia determinada, ya sea de monofrecuencia o multifrecuencia. El BIA mide el voltaje que surge de la interacción entre la corriente eléctrica inyectada por el equipo, y los diversos tejidos corporales (masa libre de grasa, la masa grasa y el líquido corporal). Obteniendo parámetros como la resistencia intra y extra celular, la reactancia capacitiva y el ángulo de fase, utilizando todos o algunos parámetros en ecuaciones aplicables a poblaciones determinadas, o interpretar las variaciones de estos parámetros con el estado de salud. Siendo un dispositivo de sencillo uso, fácil transporte, de resultados rápidos (unos minutos) y de costo más económico respecto a otros equipos que analizan la masa corporal.

Definición conceptual de Diagnóstico

El diagnostico medico es el proceso donde el médico detecta o descarta una enfermedad, para realizar esto se basa en un interrogatorio con el paciente (síntomas), y el también emplea la observación objetiva del paciente, ya sea utilizando una interacción mediante toques, o utilizando métodos complementarios para detectar el tipo de patología. La enfermedad renal crónica requiere de una monitorización constante y de por vida, necesitando de equipos de laboratorio y radiografías, además de los especialistas que manejen estos equipos y el tiempo en la obtención de resultado.

Tipos de investigación

Investigación Proyectiva

"Tiene como objetivo diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. El diseño de maquinarias, la creación de programas de intervención social, los inventos, entre otros. Este tipo de investigación potencia el desarrollo tecnológico" (Hurtado de Barrera, 2006, pág. 133). Siendo la propuesta de diseño de un dispositivo BIA, presenta como fines el difundir el desarrollo tecnológico, y resolver el problema del diagnóstico de los pacientes que padecen ERC en los hospitales de lima – Perú.

Método de diseño

"Método hace referencia a la manera de como una persona realiza su tarea (diseñar); siendo la técnica las herramientas que usa el diseñador para aplicar su método; y el modelo la forma de representar un método para estudiarlo y comprenderlo" (INGENIERÍA DE DISEÑO, pág. 19). "Los métodos de

investigación localizan y delimitan un problema, permiten recolectar datos importantes para generar hipótesis que posteriormente sean probadas o respaldadas" (Canaan, 2019).

Método cuantitativo

Según Canaan (2019) afirma, "la intención de este método es exponer y encontrar el conocimiento ampliado de un caso mediante datos detallados y principios teóricos". Además se extrae del trabajo realizado por Hernández (2014) que "utiliza la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico" (pág. 37), además de "Una vez planteado el problema de estudio, el investigador considera lo que se ha investigado anteriormente (la revisión de la literatura) y construye un marco teórico (la teoría que habrá de guiar su estudio)" (Hernández Sampieri, 2014, pág. 38).

Este trabajo de investigación es de enfoque cuantitativo, ya que, busca la relación entre las variables de diagnóstico médico y la BIA, basándose en literaturas para la hipótesis y así construir el marco teórico que se utiliza.

Diseño de Investigación Experimental

"El investigador domina las condiciones que realiza al experimento y modifica sus variables independientes para obtener resultados. (…) Somete a uno o varios individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente)" (Palella & Pestana, 2012, pág. 86). En base a estas variaciones de parámetros busca predecir un resultado (elaborar un pronóstico), en función a la relación de causa y efecto. El trabajo de investigación, busca someter el diagnostico de los pacientes que padecen una ERC (variable independiente), al uso de BIA (variable dependiente), para verificar si mejora el diagnostico de los pacientes.

Población y muestra

Población

Gonzales y Salazar 2008

El conjunto de datos de los cuales se ocupa un determinado estudio estadístico se llama población y está íntimamente ligado a lo que se pretende estudiar. (…). También se puede definir como el conjunto de datos acerca de unidades de análisis (individuos, objetos) en relación a una misma característica, propiedad o atributo (variable). (pág. 11)

Para este trabajo de investigación, la población se representa por aquellos dispositivos para el análisis de la composición corporal que trabajan mediante la bioimpedancia eléctrica, y que son accesibles en la ciudad de lima - Perú, ya que, estos permiten ayudar a realizar un mejor diagnostico a los pacientes que padecen una ERC en los hospitales de lima - Perú.

Muestra

Gonzales y Salazar 2008

La muestra estadística es una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, pertenecientes al universo o población. La muestra descansa en el principio de que las partes representan al todo; reflejando las características que definen la población de la que fue extraída. Se dice que una muestra es representativa cuando reproduce las distribuciones y los valores de las diferentes características de la población, con márgenes de error calculables. Por tal razón ésta debe ser lo más precisa y al mismo tiempo contener el mínimo de sesgos posibles. (pág. 15)

La muestra de este estudio está formada por el equipo analizador de bioimpedancia eléctrica que me permita conocer el ángulo de fase de pacientes ambulatorios. Para esta muestra se realizó una encuesta a la marca InBody, siendo su único representante la empresa JP REHAB S.R.L, ya que, es accesible obtener una referencia del precio en el mercado nacional de estos equipos de bioimpedancia y parte de su información.

3.2.3 Evaluación

La propuesta de diseño de un BIA se enfoca en el conocimiento que relaciona la masa corporal con variables eléctricas, y desarrollo del diseño para crear estos circuitos eléctricos, brindando una base teórica que permita poder implementarse o mejorar el diseño en futuros proyectos.

Analizador de bioimpedancia corporal

El BIA utiliza la relación de las propiedades eléctricas del cuerpo, es decir, como reaccionan los diferentes tejidos ante un tipo de señal eléctrica aplicada. Del trabajo realizado por Juárez, Ramírez y Vela (2016) se afirma que, “El BIA es una técnica simple, rápida y no invasiva que permite la estimación del agua corporal total (ACT) y, por asunciones basadas en las constantes de hidratación de los tejidos, se obtiene la masa libre de grasa (MLG) y por derivación, la masa grasa (MG)” (pág. 863), además que los dispositivos BIA se validan por ecuaciones, modelos teóricos y métodos de referencia, estos son específicos para cada tipo de población y en base a estudios aplicados a una población sana, además de utilizar las ecuaciones de predicción con variables como el peso, la talla, la edad y el sexo. “La bioimpedancia eléctrica BIE viene empleándose en la valoración de la composición corporal desde hace décadas, pero a lo largo de este tiempo, los instrumentos para su análisis han ido mejorando de forma muy significativa” (López, 2011, pág. 630).

El cuerpo reacciona dependiendo el tipo de corriente eléctrica que se le aplica, actuando como un aislante (masa grasa) o como conductor (líquido corporal), y este comportamiento se define como “impedancia corporal”, siendo una representación mediante símbolos eléctricos poder comprender la composición corporal mediante el uso de ecuaciones.

$$Z = \sqrt{R^2 + Xc^2}$$

Z: Impedancia corporal, en ohmios (Ω).

R: Resistencia de los tejidos al paso de la corriente eléctrica.

Xc: Oposición causada por la reactancia capacitiva producida en las membranas celulares.

Z está en función de la resistencia corporal “R” y la reactancia capacitiva “Xc”, siendo que Z

El comportamiento de los tejidos está muy influenciado por la frecuencia, “en función de la frecuencia de la corriente alterna aplicada, la BIA puede clasificarse en BIA monofrecuencia y BIA multifrecuencia” (López, 2011, pág. 630). Para comprender R y Xc debemos “estimar la composición corporal en dos o tres compartimientos, siendo la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG); o la masa grasa, la masa celular y la masa extra celular” (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 105).

Resistencia de los tejidos (R)

Es la oposición al paso de la corriente eléctrica parte de los tejidos, esta depende del tipo de tejido, como los tejidos óseos que actúan como aislante o el líquido corporal que actúa como conductor. Para la corriente eléctrica los líquidos intra celular (LIC) y liquido extra celular (LEC) (soluciones electrolíticas) presentan una menor resistencia, por ello son más significativos en el análisis de sus propiedades eléctricas. “Para simplificar el estudio de la resistencia corporal, según la ley de Pouillet, se representa partes del cuerpo en cilindros (Figura 4) que dependen del área A, longitud L y un coeficiente de resistividad propio de cada individuo (ρ)” (Molina Vega, y otros, 2017, pág. 131).

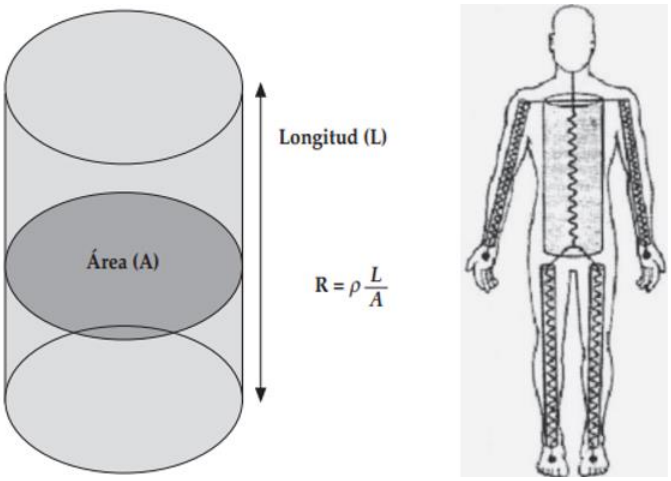

Figura 4. Representación cilíndrica. Ley de Pouillet (figura de la izquierda). Figura extraída de (Molina Vega, y otros, 2017); y la representación corporal mediante cilindros (figura de la derecha). Extraído de (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007)

La resistencia corporal es inversamente proporcional a la frecuencia (al aumentar la frecuencia se reduce la resistencia corporal), esto es debido a la reactancia capacitiva producida por las membranas celulares, ya que, a bajas frecuencias la corriente eléctrica circula externamente a la célula (por el líquido extracelular), pero a altas frecuencias la corriente eléctrica también circula por el líquido intra celular creando un circuito en paralelo (figura 5) y reduciendo el valor total de la resistencia, donde esta interpretación en paralelo surge “asumiendo que los principales componentes de un circuito bioeléctrico (conjunto de tejidos) están en paralelo (capas concéntricas, capas conductivas de proteínas y capas aislantes de lípidos)” (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 105).

Donde la resistencia extra celular (REC) es producida por la MLG externa a la célula, en su mayoría por líquidos extra celulares, además la resistencia corporal en la medición prácticamente la REC a frecuencias bajas. Y la resistencia intra celular es producida por la MLG al interior de la célula, es decir, producida por los líquidos intra celulares.

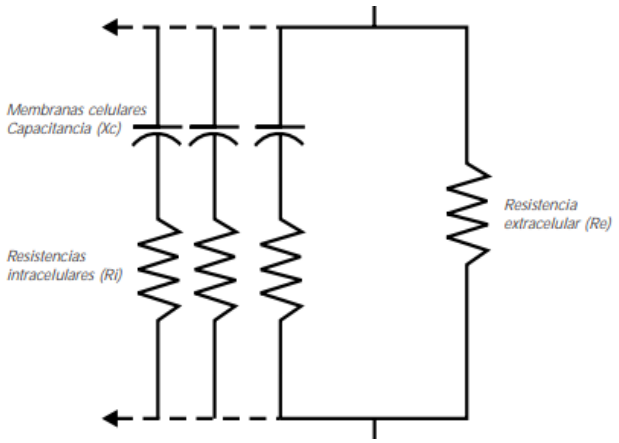

Figura 5. Circuito bioeléctrico. Figura extraída de *(Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 105)*

Reactancia capacitiva (Xc)

Surge debido a que la membrana celular (aislante) se encuentra entre el líquido intra celular y el líquido extra celular (actúan como conductores), este posicionamiento simula un circuito capacito (figura 5). Como todo elemento capacitivo, su impedancia es inversamente proporcional a la frecuencia, se reduce al aumentar la frecuencia de la señal eléctrica, y viceversa, Molina et al. (2017) afirma que "la impedancia corporal formada por R y Xc, se ve afectada por la frecuencia de la corriente eléctrica que se aplica al sujeto" (pág. 131). La reactancia capacitiva genera un desfase entre la señal de voltaje medido con la señal de corriente eléctrica aplicada, se observa en la figura 6.

"A pesar que en el cuerpo humano la Xc ≤ 4% de la impedancia corporal (Z), este parámetro es fundamental para poder diferenciar líquidos intra y extracelulares, y valorar el estado de las membranas celulares" (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 106), siendo relacionado con los procesos homeostáticos y metabólicos. Según Molina et al. (2017) afirma que "en las frecuencias muy bajas de 1-5KHz, solo circula corriente eléctrica por el líquido extracelular" (pág. 131), debido a que la impedancia reactiva es muy alta dando (circuito abierto), y según Molina et al. (2017) "en las frecuencias altas de 50-100 kHz la corriente eléctrica atraviesa las membranas celulares, ocasionando que

circule corriente eléctrica por el agua intracelular, participando la reactancia capacitiva que aumentando su valor y atravesando más membranas celulares" (pág. 131), este aumento de Xc presenta un valor pico, aunque "a frecuencias muy altas (alrededor de 1 MHz) la corriente eléctrica salta las membranas celulares, circulando sólo por el AEC y el AIC, la reactancia capacitiva es prácticamente igual a cero" (Molina Vega, et al., 2017, pág. 131).

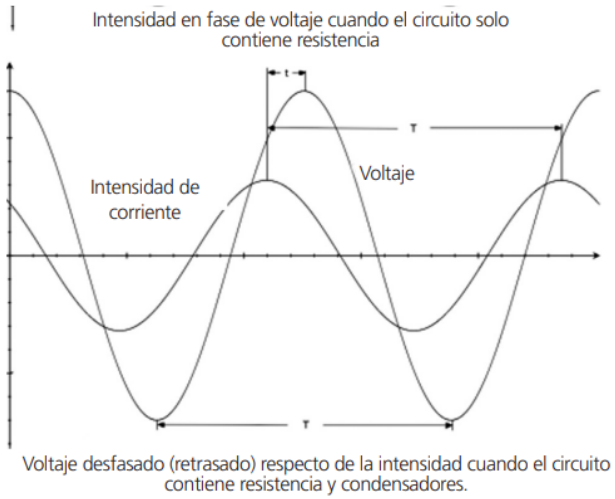

Figura 6. Voltaje e intensidad de corriente en circuitos de corriente alterna. Figura extraída de *(Sánchez Iglesias, Fernández Lucas, & Teruel, 2012)*

Angulo de fase (ϕ)

El ángulo de fase surge de la relación entre la impedancia resistiva (R) y la impedancia capacitiva (Xc) (figura 7), estos dos parámetros forman un vector que presenta un ángulo (ángulo de fase). Eléctricamente el ángulo de fase representa el retraso del voltaje respecto a la corriente o desfase (figura 6). El ángulo de fase junto a Xc presentan un comportamiento parabólico respecto a la frecuencia.

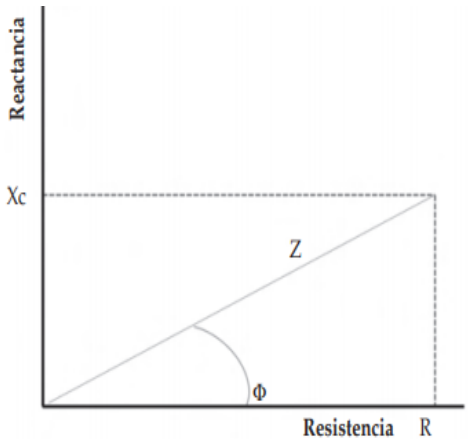

Figura 7. Relaciones geométricas de los componentes. Extraído de *(Molina Vega, y otros, 2017)*.

La ecuación para hallar el ángulo de fase es:

$$\phi = \left(arcTg\frac{Xc}{R}\right) * \frac{180}{\pi}$$

Según diversos estudios se asume que cerca de los 50KHz se alcanza el valor máximo de Xc y ϕ, a este punto de valor máximo se le denominado "frecuencia crítica", "los monitores BIA de monofrecuencia utilizan este valor, aunque se recae en un error, ya que, una progresión de varias frecuencias (BIA multifrecuencia) es más precisa para hallar la frecuencia critica" (López, 2011, pág. 631).

"El ángulo de fase se relaciona directamente con la reactancia capacitiva (masa celular, integridad, función y composición de las membranas celulares) y negativamente con la resistencia corporal (grado de hidratación de los tejidos)" (Molina Vega, y otros, 2017, pág. 131). Se toma como referencia el ángulo de fase en los estudios de pacientes sanos con índice de masa corporal (IMC) normal, para evaluar las desviaciones individuales de un paciente en relación con el promedio de la población sana.

Diversos trabajos de investigación utilizan al ángulo de fase como referencia en la evaluación de pacientes, "demostrando tener un gran valor como

pronóstico, ya sea el caso como factor para predecir la morbimortalidad (muerte causada por enfermedades) de los pacientes que padecen una enfermedad renal" (López, 2011, pág. 630). Generalmente los pacientes con ERC presentan desnutrición y estados de sobre hidratación, siendo factores que se puede relacionan con R y Xc, y la relación de estos se expresa en el ángulo de frase (AF), "en algunos estudios un AF>8º presentaba mayor supervivencia que aquellos pacientes con AF 5-6º, en otro estudio encontraron mayor supervivencia en un AF mayor de la mediana de su población (5,3º) con enfermedad renal crónica avanzada prediálisis" (Molina Vega, y otros, 2017, pág. 144).

Propuesta de diseño de un BIA

Se busca reducir en lo posible su complejidad para reducir su costo, y esto se consigue enfocándose en un parámetro que es el ángulo de fase. Para realizar el diseño, se detalla las etapas mediante tres bloques secuenciales.

Bloque 1: Generador de señal eléctrica.

Se busca que esta señal de salida sea una señal senoidal con una amplitud menor de 100uA y a una frecuencia de 50KHz (frecuencia critica). Se inicia con un generador de señal de voltaje senoidal mediante un oscilador, que luego se convierte la señal de voltaje a una de corriente eléctrica mediante una fuente HOWLAND, para que finalmente sea aplicada esta corriente eléctrica al paciente mediante dos electrodos (inyectores).

Para el circuito oscilador se utiliza un OSCILADOR COLPITTS, debido a que es "sencillo de armar, bajo costo y con muy buenas prestaciones. Trabaja en frecuencias de 1 a 500MHz, utilizando BJT o FET, utiliza un circuito tanque LC, y como no trabaja en frecuencias muy altas no surge errores de capacitancias parasitas"(Azamar, 2017)., el diseño, los cálculos y el valor de los componentes se extraen del trabajo realizado por Azamar (2017), realizando un ajuste para obtener la frecuencia de 50KHz.

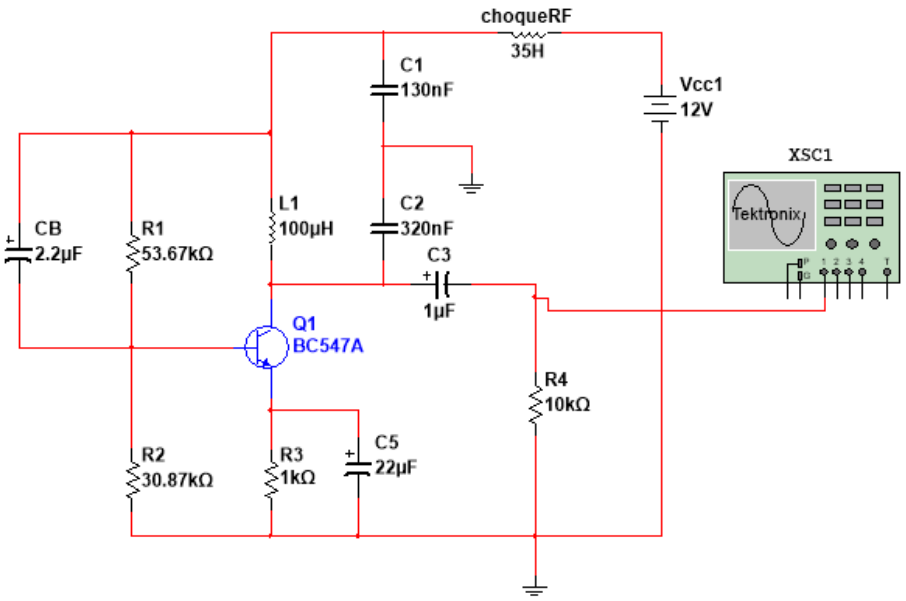

Figura 8. Diagrama del oscilador Colpitts. Diagrama realizado por el autor, utilizando el programa NI Multisim.

Tanto los valores del lazo del tanque (filtro LC), condición llamada criterio de oscilación, como la obtención de la frecuencia de resonancia y los ajustes que estos requieran son obtenidas del trabajo de Azamar (2017), cabe mencionar que los datos teóricos obtenidos para la polarización y cumplir el criterio de oscilación pueden presentar variaciones con respecto a lo real, debido a los factores físicos (tolerancia) que presentan los componentes electrónicos.

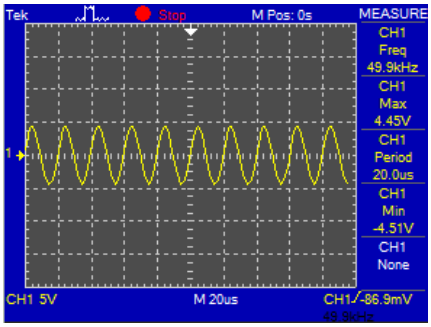

Figura 9. Frecuencia de resonancia obtenidos por ajuste de C_2, simulado en el programa NI Multisim 14.0. Figura realizada por el autor.

De la figura 9, se observa que el voltaje de salida es de 4.45V pico, pero se requiere que esta salida sea de 1V pico, por ellos se procede con un circuito regulador de voltaje (figura 10), utilizando la siguiente ecuación.

$V_o = -\frac{R_2}{R_1} * V_i$ $\qquad$ V_i : voltaje del oscilador.

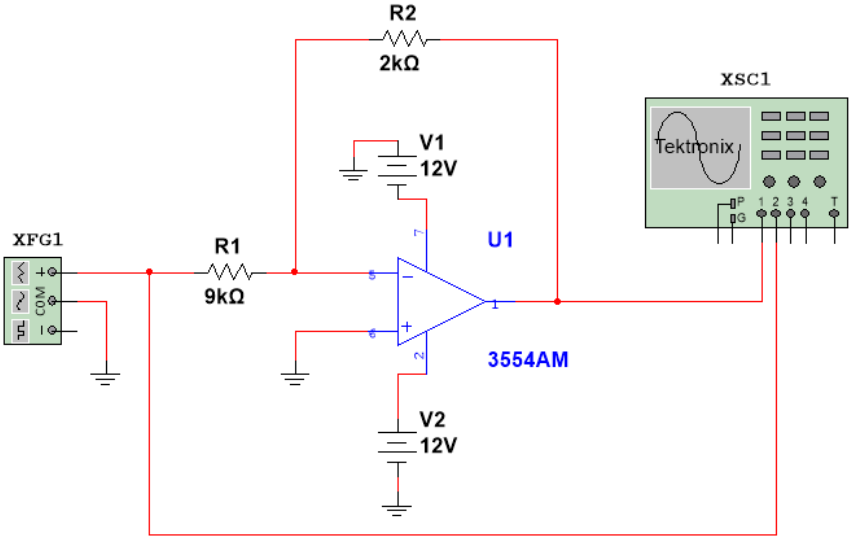

Figura *10*. Circuito regulador de voltaje, simulado en IN Multisim por el autor.

Se procede con un generador de señal de corriente eléctrica de 50KHz y 10uA, para esto se utiliza una fuente HOWLAND, debido a que “este circuito muestra una simplicidad y buena estabilidad en la salida”, según (AGUILERA, BAYONA, & MIRANDA, 2007). Para los valores de la fuente HOWLAND (figura 11), se extra de las ecuaciones expuestas en el trabajo realizado por (AGUILERA, BAYONA, & MIRANDA, 2007), la corriente de carga o salida:

$$I_l = -\frac{1}{Z_{3b}} * V_i$$

Con la condición que: $Z_1 = Z_4$; $Z_2 = Z_{3a} + Z_{3b}$; de estas consideraciones surge que la impedancia de salida HOWLAND es $Z_{out} \rightarrow \infty$.

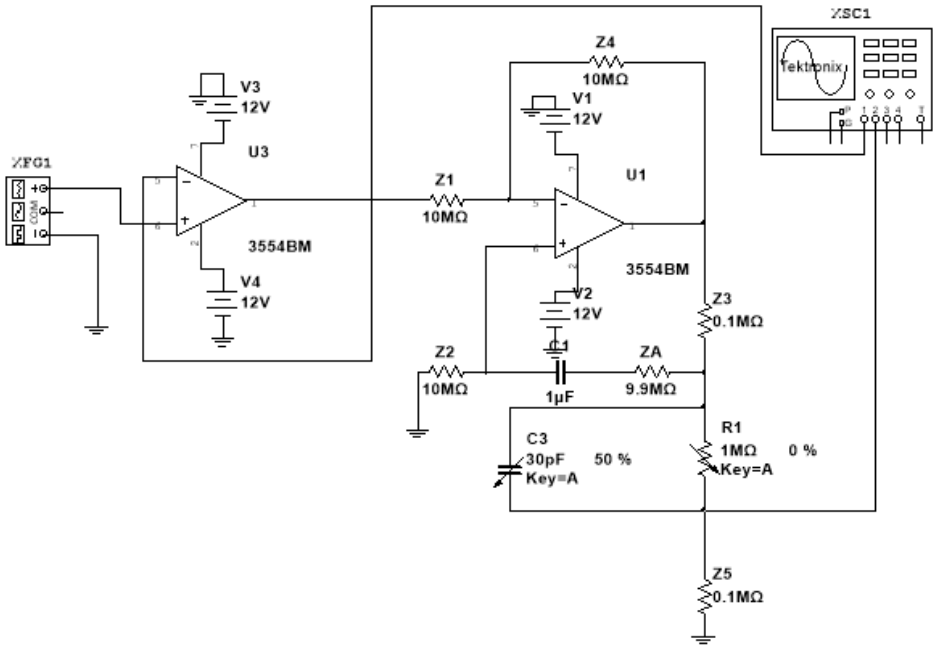

Figura *11.* Fuente de corriente Howland diseñado. Figura realizada por el autor.

Bloque 2: Recepción de la señal corporal

La señal corporal es medida mediante unos electrodos (de medición), luego esta señal procede a una etapa amplificadora (figura 12), ya que, además de elevar la señal recibida también sirve como acoplamiento para las impedancias y así no depender de la potencia de la señal corporal.

Este valor de elevación depende de la población y el valor promedio de la impedancia corporal (requiere de un estudio aplicado), por este motivo se deja la ecuación en variables (valores de la figura 12 son didácticos).

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} * V_i \qquad V_i \text{ : voltaje corporal medido.}$$

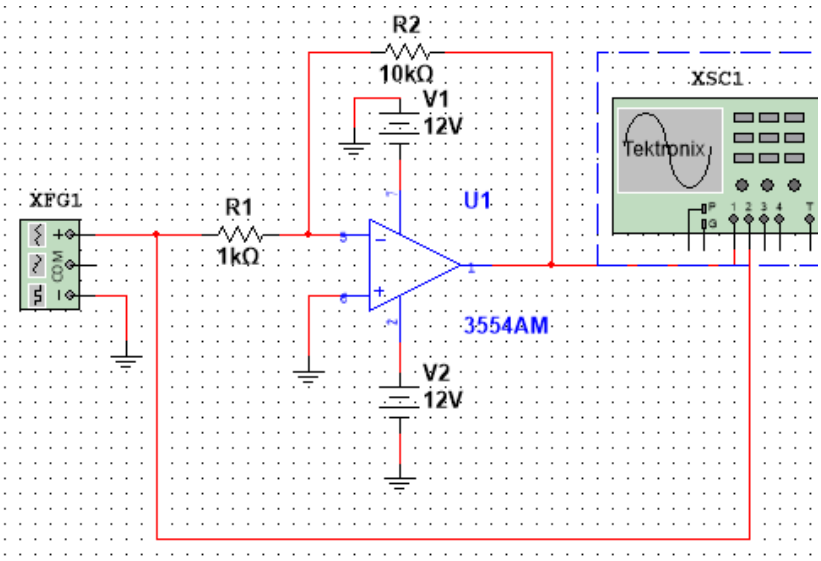

Figura *12*.Circuito elevador de voltaje. Figura realizada por el autor.

Esta señal eléctrica corporal medida presenta interferencias, ya sea, por factores externos como ruido electromagnético o internos como otras señales eléctricas corporales, para eliminar o reducir considerablemente el ruido, este trabajo de investigación utiliza un filtro activo, ya que, los filtros activos “a pesar

de no ser tan económicos y de requerir alimentación a diferencia de los pasivos, este es fácil de implementar en varias órdenes, no utiliza elementos inductivos y se adapta fácilmente a las impedancias" (Balboa & Sáez, 2016, pág. 82), además, "se prefiere el filtro BUTTERWORTH por que presenta la característica de una curva plana en la banda pasante" (Balboa & Sáez, 2016, pág. 12).

Para el diseño de la etapa de filtrado se utiliza la página ANALOG FILTER WIZARD (DEVICES, 2020). En la figura 13 se observa los datos ingresados a ANALOG FILTER WIZARD, como la frecuencia central y la banda de rechazo, la configuración se realiza para que el circuito resultante no contenga muchas etapas para así no incrementar su costo. El circuito resultante se observa en la figura 14.

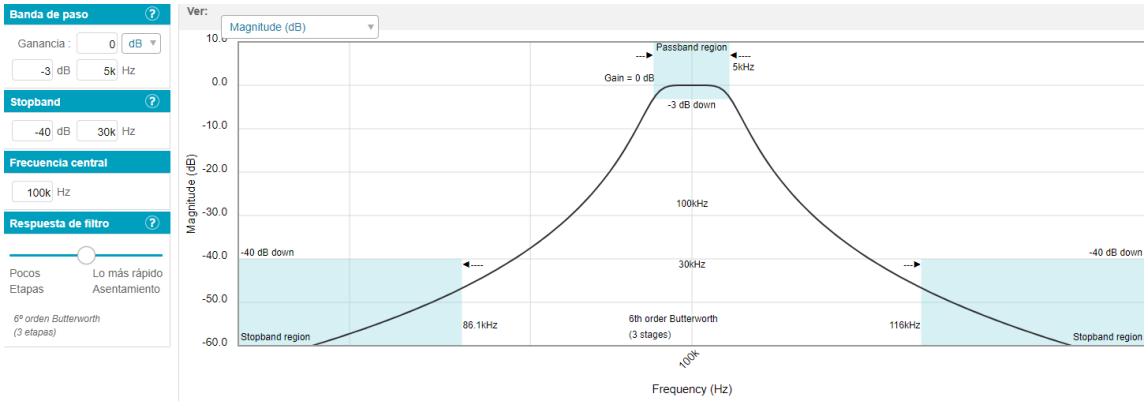

Figura 13. Configuración del filtro activo diseñado en la página ANALOG FILTER WIZARD para una señal de 50KHz.

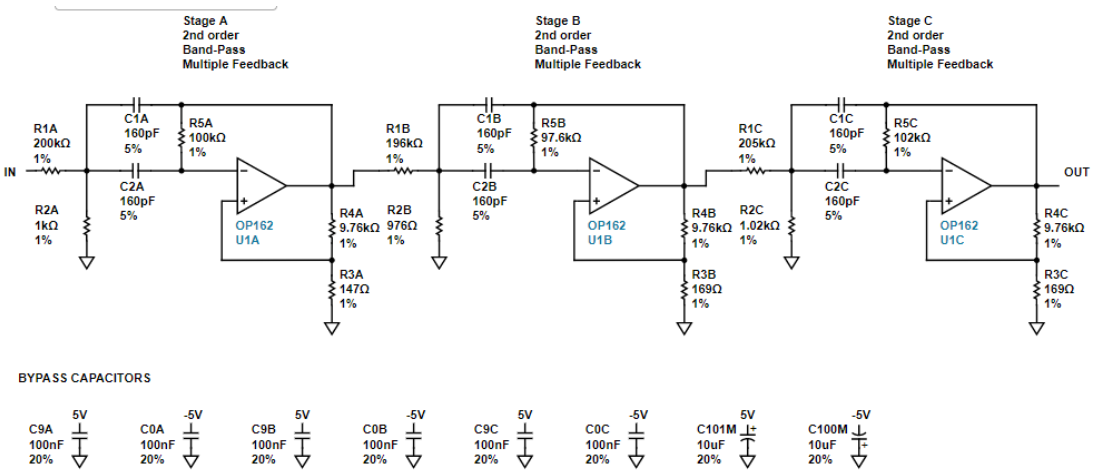

Figura *14*. Circuito del filtro activo, obtenido de la página ANALOG FILTER WIZARD.

Bloque 3: Procesamiento de la señal

Se busca convertir la señal eléctrica de tipo analógica obtenida del bloque 2 en datos que puedan ser procesados en un ordenador, se busca procesar la información en una plataforma que procederá con los algoritmos para calcular el ángulo de fase. Esta información obtenida brinda la opción de un monitoreo remoto, dando la posibilidad de enviar la información a médicos especialistas de otras zonas, para que estos puedan monitorizar a sus pacientes desde cualquier lugar. mediante otros ordenadores, aplicativos, por mensajes, etc.

Este bloque puede ser implementado ya sea mediante un convertidor analógico/digital (ADC), mediante el uso de dispositivos como Raspberry, o como alternativa el Módulo de adquisición de datos AD7606, ya que sus parámetros de trabajo son acordes a lo que busca el trabajo. Cabe mencionar que se puede diseñar un módulo de adquisición de datos y poder implementarlo. Se considera el uso del “Módulo de adquisición de datos AD7606”, por los parámetros de trabajo que presenta.

Para realizar la adquisición de datos se requiere las siguientes consideraciones:

-La frecuencia de muestreo: es el valor de la frecuencia con que se va a tomar una muestra, es decir, es la cantidad de muestras que se toma de un periodo completo (figura 15). Para determinar esta frecuencia de muestreo se utiliza el criterio de Nyquist Shannon, el cual establece que:

$$f_m > 2Bw \qquad\qquad Bw = f_{max} - f_{min}$$

f_m: Frecuencia de muestreo.

Bw: Ancho de banda de la señal a muestrear.

Para este caso se requiere que $f_{min} = 0$, ya que, se trabaja con una única señal senoidal, entonces la ecuación para f_m es la siguiente:

$$Bw = f_{max} \qquad\qquad f_m > 2f_{max}$$

El criterio de Nyquist Shannon busca evitar el efecto aliasing, “el aliasing es el efecto que causa que señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se les muestrea digitalmente. Cuando esto sucede, la señal original no puede ser reconstruida a partir de la señal digital”, según (CORTÉS , CANO GARZÓN, & CHAVES OSORIO, 2008, pág. 39).

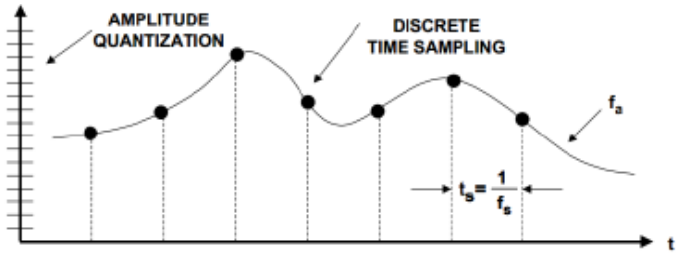

Figura 15. Muestreo de una señal. Figura extraída de *(JURADO , 2016)*

Teniendo en cuenta el criterio de Nyquist, se eligió una frecuencia de $4f_{max}$, se debe tener en cuenta que esta elección puede variar dependiendo del grado de precisión que se busque realizar (a mayor frecuencia de muestreo hay una mejor reconstrucción).

-Resolución: Se expresa en cuanto voltaje real (voltios) representa cada bit (figura 16), “se expresa la resolución en “n” bits, ósea que puede tomar n muestras dentro de un rango, esto depende del voltaje que se quiera muestrear” (Arduino, 2015), por ejemplo, para un voltaje 5V-0V y una resolución de 10bits, cada muestra va de $\frac{5V-0V}{1024} = 0.00489\text{V}$ (4.89mV).

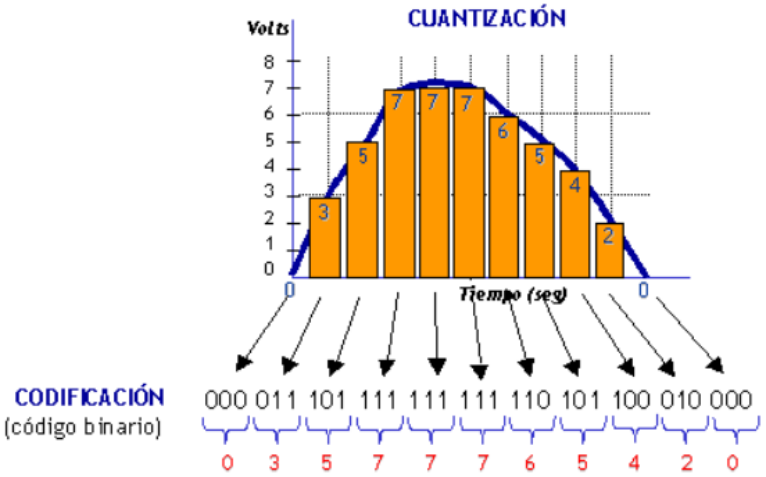

Figura 16. Error de cuantización. Figura extraída de (Arduino, 2015)

-Cuantización o cuantificación: es cuando la señal discreta (valores definidos) representada por bits que representa el valor en voltios de la señal y representada en un tiempo continuo (cualquier valor), debe pasar a ser una señal discreta que este en un tiempo discreto. De la información extraída de (Arduino, 2015), “se debe tener en cuenta que se genera un error de cuantización representado en la figura 17, este error es constante y se puede reducir aumentando la resolución o la frecuencia de muestreo”.

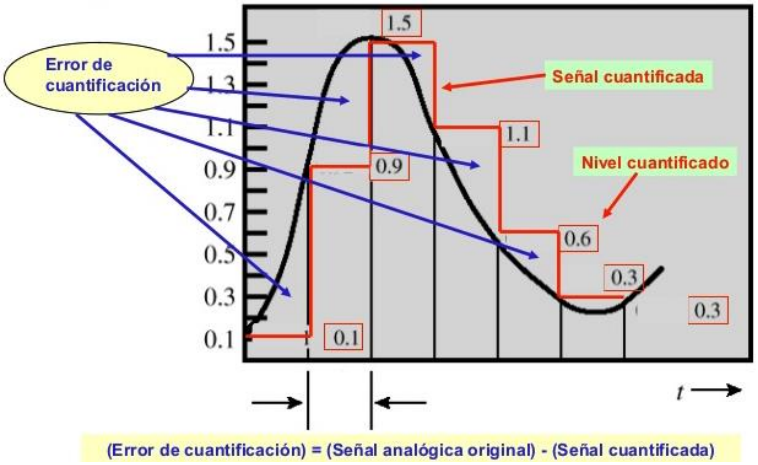

Figura *17*. Error de cuantización. Figura extraída de información extraída de (Arduino, 2015)

-La codificación: es la asignación de código a los niveles de cuantización en una secuencia de bits. Por ejemplo, el valor de 0 voltios se representa como B0000 (0) y el valor de 5V es expresado en digital como B1111 (16), entonces, cada bit que cambia el valor digital se representa como un cambio de $\frac{5}{16} = 0.312\text{V}$ de forma analógica, es decir que B0001 es 312mV.

Una vez obtenido la información que pueda ser enviada a un ordenador se procede interpretarla mediante algoritmos, esto se realiza con el fin de tener la facilidad para interpretar la señal de corriente aplicada al paciente, se busca hallar el ángulo de fase que se genera. Para el procesamiento de datos se puede utilizar diversas plataformas como la plataforma MatLab.

Consideraciones para la aplicación

Al momento de aplicar al paciente, se debe tener en cuenta ciertas consideraciones para una adecuada medición. Además, la bioimpedancia "presenta un margen de error en la estimación del ACT y de la MLG entre el 2-4% en sujetos sanos" (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 108). Junto a la información obtenida, en diversos estudios utilizan la estatura y el peso del individuo para evaluarlo.

Antes de realizar el BIA, se debe tener consideraciones previas, como:

-No tener la ingesta de líquidos o alimentos, o realizar ejercicios físicos unas 4 horas previas al análisis.

-No tener la presencia de procesos febriles, deshidratación o edema y los períodos menstruales.

-No beber alcohol por 48 horas antes del examen.

-El lado del cuerpo, posición de las extremidades y la postura del sujeto.

-La conductancia de la camilla de medición (para que no actúe como resistencia en paralelo), y la presencia de objetos metálicos que alteren las mediciones corporales.

-Limpieza de la piel donde se colocarán los electrodos, con alcohol al 70%.

-Temperatura ambiental que debe estar de 20 º a 35 ºC.

-No usar diuréticos por una semana.

-Vaciar la vejiga antes del análisis.

-No realizar esta prueba a personas que utilicen marcapasos o estén embarazadas.

Se recomienda para el análisis (debido al liquido corporal) que el paciente "deberá estar en decúbito supino (figura 18), ya sea en la cama o en camilla, además de haber tocado una superficie metálica que esté en contacto con el suelo para descargar el cuerpo", según (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007, pág. 109). La medición se hará tras estar acostado entre tres y cinco minutos aproximadamente, y los miembros deben estar ligeramente separados en 45º con respecto al tronco.

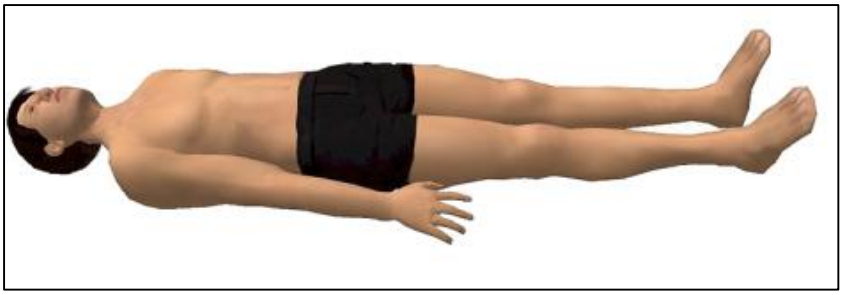

Figura 18. Posición Decúbito Supino. Figura extraída de *(Sánchez, 2015)*

El uso de los electrodos, La relación entre el electrodo y la piel debe ser considerada:

-La capa superficial de la epidermis está compuesta por células muertas que genera una alta impedancia, por eso es aconsejable remover esta capa con frotamiento con algún papel mojado en alcohol o acetona, abrasión con papel rugoso o simplemente frotar la zona con un cepillo.

-Problema debido al vello corporal, ya que, puede provocar una mala interfase electrolito-piel.

Los electrodos inyectores de la corriente eléctrica se ubicarán debajo de la falange metacarpiana en el medio del dorso de la mano y justo debajo del arco transverso, en la cara dorsal del pie, inmediatamente por detrás de la segunda falange metatarsiana (figura 19). En tanto que los electrodos detectores se colocarán en el centro de la muñeca junto al proceso estiloide y en la región dorsal del pie, en una distancia equidistante entre el maléolo tibial y peroneo (figura 19).

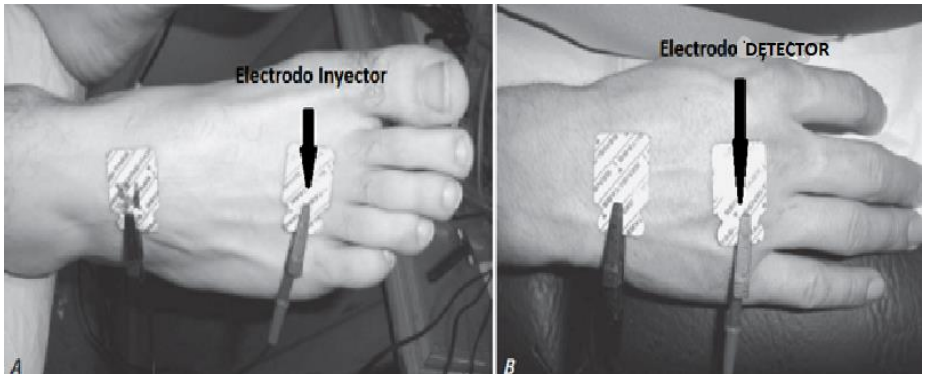

Figura 19. Ubicación de los electrodos en el pie (A) y en la mano (B). Figura extraída de (Berral de la Rosa & Rodríguez Bies, 2007)

Se debe tener en cuenta cualquier interferencia electromagnética producida por otros aparatos o por una línea de alimentación. Además, los electrodos superficiales deben tener un tamaño no menor de 5 cm2 y frecuentemente se utilizan electrodos desechables y adhesivos, que tienen gel electrolítico sólido.

Según el estudio realizado por (González & Caicedo, 2017, pág. 111), si los electrodos recomendados por el fabricante del equipo (BIA) no están disponibles, “se deben considerar los electrodos de ECG, para esto se evaluaron dos tipos de electrodos comerciales de electrocardiograma (3M-2228 y 3M-2330), comparándolos con los del fabricante. Concluyendo que ambos electrodos comerciales tuvieron un desempeño similar a los de referencia”; sin embargo, a frecuencias altas los electrodos 3M-2330 se comportaron mejor.

Se debe tener en consideración que, además del diseño del dispositivo, como la implementación a una población determinada, se deben considerar factores como la aplicación de los electrodos, donde “la mejor ubicación es la tetrapolar (figura 12), de 4 electrodos, donde: dos introducen una corriente alterna y los otros miden el voltaje producido en el cuerpo. La distancia entre electrodos debe ser mayor de 4-5 cm, para evitar interferencias” (Alvero, Correas , Ronconi, Fernández , & Porta, 2011, pág. 169). Factores como el estado inicial del paciente, desigualdades en las extremidades, la edad, sexo, patología presente y posición.

CAPÍTULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo se presenta mi valorización del trabajo de investigación en el contexto de la solución del problema en el diagnóstico de los pacientes con ERC, y de la importancia para el profesional de ingeniería electrónica.

La propuesta de diseño planteado en este trabajo de investigación para mejorar el diagnostico de los pacientes que padecen ERC, viene siendo respaldado por diversos estudios previos. Además, el diseño presentado en este trabajo expone su factibilidad de ser realizado y de ser mejorado en futuros proyectos, siendo que enfocarse en un solo parámetro (a diferencia de otros BIA) reduce su complejidad, haciendo posible que pueda implementarse en zonas con escaso recursos o con carencia de especialistas calificados, además que, es posible compartir los resultados mediante la red de forma rápida.

El diseño presente es de naturaleza teórico, lo cual debe tenerse en cuenta al momento de implementarse, ya que, factores como la frecuencia y la amplitud de la señal inyectada puede variar, los métodos para inyectar esta corriente y censarla, método de procesamiento de la señal, además de factores externos al dispositivo y al individuo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos luego del desarrollo del trabajo de investigación, así como las sugerencias para la aplicación exitosa del diseño de un BIA centrado en el ángulo de fase.

5.1 Conclusiones

a) Se ha diseñado un BIA de sencillo uso, y con las bases teóricas para ser mejorado en futuros trabajos.
b) El trabajo de investigación debe seguir con otros estudios, como los valores del ángulo de fase, ya que, estos deben ser aplicado a la población peruana.
c) El diseño presente es teórico, por lo que debe tenerse en cuenta variaciones en los valores al ser implementado.
d) Al ser enfocado en la obtención de un parámetro, se ha simplificado el diseño a diferencia de un BIA con todos sus parámetros.

5.2 Recomendaciones

a) Evaluar posibles fallos en el diseño al ser implementado.
b) Evaluar el parámetro de ángulo de fase, ya que, es propio de cada población.

c) Tener en cuenta las condiciones iniciales del paciente al momento de realizar el análisis por bioimpedancia.
d) Considerar factores externos al paciente, al momento de realizar la evaluación por bioimpedancia.
e) El muestreo de la señal puede variar dependiendo del diseñador.

CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFIA

1) AGUILERA, O. A., BAYONA, O. J., & MIRANDA, D. A. (2007). CRITERIOS DE DISEÑO DE LA FUENTE DE CORRIENTE HOWLAND. *Revista UIS ingenierias*.
2) Alvero, J., Correas , L., Ronconi, M., Fernández , R., & Porta, J. (2011). La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización. *Andaluza de Medicina del Deporte*.
3) Antúnez Baró , A. (2013). Necesidad del uso reflexivo de estudios complementarios. *MEDICIEGO 2013*, 7.
4) Arduino, A. y. (20 de septiembre de 2015). *Arduino y solo Arduino*. Obtenido de ¿Cuál es la precisión de medida del Arduino?: https://soloarduino.blogspot.com/2015/09/cual-es-la-precision-de-medida-del.html
5) Azamar, A. (4 de Diciembre de 2017). *Electrónica y seguridad informática*. Obtenido de OSCILADOR COLPITTS: https://securityassessmentsblog.wordpress.com/2017/12/04/oscilador-colpitts/
6) Balboa , E., & Sáez, M. (2016). *ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FILTROS ACTIVOS.* Chile: UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO.

7) Berral de la Rosa, F., & Rodríguez Bies, E. (2007). Impedancia bioeléctrica y su aplicación en el ámbito hospitalario. *medigraphic Artemisa en linea*.

8) Canaan, R. (2019). *lifeder.com*. Obtenido de Los 8 Tipos de Métodos de Investigación Más Habituales: https://www.lifeder.com/tipos-metodos-de-investigacion/

9) Caravaca, F., Martínez del Viejo, C., Villa, J., Gallardo, R. M., & Ferreira, F. (2011). Hydration status assessment by multi-frequency bioimpedance in patients with advanced chronic kidney disease. *Nefrologia 2011;31(5):537-44*.

10) Carbajal Azcona, Á. (2013). *Manual de Nutrición y Dietética.* Madrid: Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

11) Carrillo Larco, R., & Bernabé Ortiz, A. (2018). MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA EN EL PERÚ: TENDENCIAS NACIONALES 2003-2015. *Peru Med Exp Salud Publica*.

12) Coronado Hurtado, T. (2015). *Diagnóstico médico.* Barranquilla: Universidad Libre Seccional Barranquilla.

13) CORTÉS , J., CANO GARZÓN, H., & CHAVES OSORIO, J. (2008). *FUNDAMENTOS Y APLICACIÓN DEL MUESTREO EN SEÑALES UBICADAS EN LAS BANDAS ALTAS DEL ESPECTRO.* Universidad Tecnológica de Pereira.

14) Costa , O., Alonso, D., Patrocinio de Oliveira, C., Candia, R., & De Paz, J. (2015). *Métodos de evaluación de la composición corporal: una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas.*

15) Cubas, D., & Espinoza , M. (2019). *EVALUACION DEL ESTADO NUTRICIONAL MEDIANTE BIOIMPEDANCIA INBODY S10 EN PACIENTES HOSPITALIZADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRONICA TERMINAL EN HEMODIALISIS DEL HOSPITAL GUILLERMO ALMENARA IRIGOYEN.* Huacho.

16) Delgado, J., Cortes, E., Huerta, L., Gutierrez, G., Chávez, K., García, A., & González, C. (2017). *Diseño de Sistema Espectrómetro de Bioimpedancia Eléctrica para detección de Células Cancerígenas en Suspensión.* SOMIB.

17) DEVICES, A. (2020). *ANALOG DEVICES*. Obtenido de Analog Filter Wizard: https://tools.analog.com/en/filterwizard/

18) Díaz Novás, J., Gallego Machado, B., & León González, A. (2006). El diagnóstico médico: bases y procedimientos. *Cubana Med Gen Integr 2006;22(1)*.

19) EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de Diagnóstico médico: https://www.ecured.cu/Diagn%C3%B3stico_m%C3%A9dico

20) Gallardo , J., Zapata, J., Lluncor, J., & Cieza, J. (2016). Evaluación del agua corporal medida por bioimpedancia eléctrica en adultos jóvenes sanos y su correlación estimada según formulaciones convencionales. *Médica Herediana*.

21) GALLARDO DE PARADA, Y., & MORENO GARZÓN, A. (1999). *Módulo 3RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN - SerieAPRENDER A INVESTIGAR.* Santa Fe de Bogotá: NSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTODE LA EDUCACIÓN SUPERIOR.

22) Gómez Carracedo, A., Arias Muñana, E., & Jiménez Rojas, C. (2007). INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA. En S. E. GERONTOLOGÍA, *TRATADO de GERIATRÍA para residentes* (pág. 820). Madrid: International Marketing & Communication, S.A. (IM&C).

23) González , R., & Salazar , F. (2008). *ASPECTOS BÁSICOS DEL ESTUDIO DE MUESTRA Y POBLACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.* Cumaná: UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO DE SUCRE.

24) González Jiménez, E. (2012). ENDOCRINOLOGÍA Y NUTRICIÓN. *Endocrinol Nutr. 2013;60(2):69---75*.

25) González, C., & Caicedo, J. (2017). Looking for optimum ECG electrodes for bioelectrical impedance analysis (BIA). The need for evaluation. *Open Access*.

26) Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación - 6a Edición .* México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

27) Herrera Galiano, A., & Serra Valdés, M. (2011). El proceso diagnóstico y su enseñanza en la medicina . *Habanera de Ciencias Médicas 2011:10(1)126-134* .

28) Herrera, A. P., Pacheco, M. J., & Taype, R. A. (2016). La enfermedad renal crónica en el Perú. Una revisión narrativa de los artículos científicos publicados. *Acta Med Per*.

29) Herrera, P., Atamari, N., & Flores, V. (2019). NÚMERO DE NEFRÓLOGOS, SERVICIOS DE HEMODIÁLISIS Y TENDENCIA DE LA

PREVALENCIA DE ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA EN EL MINISTERIO DE SALUD DE PERÚ. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*.

30) HUESO, A. (2015). *DISEÑO, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BAJO COSTE PARA LA MEDIDA DE BIOIMPEDANCIA.* Universidad Politecnica de Valencia .

31) Hurtado de Barrera, J. (2006). *Metodología de la Invetigación Guía para la comprensión holística de la ciencia, cuarta edición .* Baruta: Venezuela.

32) Hurtado de Barrera, J. (21 de Febrero de 2008). *Investigación holística*. Obtenido de La investigación proyectiva: http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/02/la-investigacin-proyectiva.html

33) Hurtado de Barrera, J. (27 de Marzo de 2013). *Investigación holística*. Obtenido de Las hipótesis en investigación: ¿cuándo se formulan?: http://investigacionholistica.blogspot.com/2013/03/las-hipotesis-en-investigacion-cuando.html

34) InBody. (marzo de 2020). *InBody* . Obtenido de InBody Peru: https://www.inbodyperu.pe/

35) INEI. (2020). *LA POBLACIÓN DE LIMA SUPERA LOS NUEVE MILLONES Y.* lima : notase prensa .

36) INGENIERÍA DE DISEÑO. (s.f.). *CAPÍTULO 2: INGENIERÍA DE DISEÑO.*

37) JP REHAB. (2011). *Quienes somos: JP REHAB*. Obtenido de JP REHAB: https://www.jprehab.com/empresa/quienes-somos#:~:text=Qui%C3%A9nes%20Somos&text=Somos%20una%20empresa%20dedicada%20a,como%20en%20el%20sector%20privado.

38) Juárez , F., Ramírez , A., & Vela , N. (2016). DISEÑO DE UN SISTEMA PORTÁTIL PARA MEDICIÓN DE BIOIMPEDANCIA. *Instituto Tecnológico de Celaya*.

39) Juárez , F., Ramírez , A., & Vela, N. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA PORTÁTIL PARA MEDICIÓN DE BIOIMPEDANCIA.* Mexico.

40) JURADO , J. (2016). *SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO PARA SEÑALES DE ULTRASONIDO.* BOGOTÁ: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

41) López, J. (2011). Evolución y aplicaciones de la bioimpedancia en el manejo de la enfermedad renal crónica. *Nefrologia 2011;31(5):537-44*.

42) Loza, C., & Ramoz, W. (2016). Análisis de la situación de la enfermedad renal crónica en le Perú, 2015. *Dirección generela de epidemiologia - MINSA*.

43) Luyckx, V. A., Tonelli, M., & Stanif, J. W. (2018). The global burden of kidney disease and the sustainable development.

44) MICROCAYA. (2016). *MICROCAYA*. Obtenido de MICROCAYA: https://www.microcaya.com/productos/equipos-de-analisis/inbody-composicion-corporal/251-inbody-770

45) Molina Vega, M., García Almeida, J., Vegas Aguilar, I., Muñoz Garach, A., Gómez Pérez, A., Cornejo Pareja, I., . . . Bellido Guerrero, D. (2017). Revisión sobre los fundamentos teórico-prácticos del ángulo de fase y su valor pronóstico en la práctica clínica. *Nutrición Clínica en Medicina*.

46) Nuria Viver, B. (5 de Noviembre de 2016). *Traducción médica, técnica y literaria*. Obtenido de Signo y síntoma en medicina:

https://traduccionmedicatecnicaliteraria.wordpress.com/2016/11/05/signo-y-sintoma-en-medicina/

47) OPS. (10 de Marzo de 2015). *Organizacion Panamericana de la Salud*. Obtenido de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10542:2015-opsoms-sociedad-latinoamericana-nefrologia-enfermedad-renal-mejorar-tratamiento&Itemid=1926&lang=es

48) Palella , S. S., & Pestana, F. (2012). *Metodologia de la Investigación Cuantitativa .* Caracas : FEDUPEL.

49) Quesada, L., León , C., Betancourt, J., & Elizabet , N. (2016). Elementos teóricos y prácticos sobre la bioimpedancia eléctrica en salud. *Arch Med Camagüey Vol20(5)2016*.

50) Rubio Sevilla, J. (2014). PAPEL DE ENFERMERÍA EN EL JUICIO CLÍNICO: LA VALORACIÓN Y EL DIAGNÓSTICO. *Enferm Cardiol. 2014; Año XXI (61): 25-31.*

51) Ruiz, E. M. (2016). *Relación entre porcentaje de grasa corporal y calidad de sueño en universitarios con índice de masa corporal normal, 2015.* Lima - Perú.

52) Salazar, A., & Cuervo, D. (2013). Protocolo de pruebas de seguridad eléctrica para equipos electromédicos: caso de estudio de equipos de telemedicina. *Revista de Ingeniería*.

53) Sánchez Iglesias, A., Fernández Lucas, M., & Teruel, J. (2012). Fundamentos eléctricos de la bioimpedancia. *Revista Nefrología. Órgano Oficial de la Sociedad Española de Nefrología*.

54) Sánchez, L. (03 de 12 de 2015). *EL BAÚL DE LA PSIQUE*. Obtenido de ¿Qué son las parasomnias?: https://elbauldelapsique.wordpress.com/2015/12/03/que-son-las-parasomnias/

55) World Kidney Day. (2019). *World Kidney Day*. Obtenido de https://www.worldkidneyday.org/wkd-2019-spanish/

56) Zapata , J., Gallardo , J., Lluncor , J., & Cieza , J. (2016). *El agua corporal medida por impedancia eléctrica y su estimación según fórmulas convencionales y en función del peso ideal y sexo, en adultos con sobrepeso u obesidad.* Lima: Rev Med Hered vol.27 no.3 .

6.1 Glosario

-Agua corporal total: Según Manual de laboratorio de fisiología (2015). La composición promedio del cuerpo humano es de 60% agua que se presenta como liquido intra y extra celular.

-Agua intra celular: Según Manual de laboratorio de fisiología (2015). El líquido intracelular representa el 40% del peso corporal.

-Agua extra celular: Según Manual de laboratorio de fisiología (2015). El líquido extracelular (LEC) a su vez se divide en dos compartimientos: el interior del árbol circulatorio, que constituye el líquido intravascular o plasma sanguíneo, y el exterior de los vasos sanguíneos, que forma el líquido intersticial que se encuentra entre las células.

-Ancho de banda: Según Alvero (2011), rango de frecuencia, presenta un valor mínimo y un máximo.

-Angulo de fase: es el ángulo de desfase que se observa al comparar el voltaje medido que se somete a un elemento con impedancia, con la corriente eléctrica que se le aplica a esa impedancia.

-Antropometría: Según MILIÁN (2014) se define como el estudio del tamaño, proporción, maduración, forma y composición corporal, y funciones generales del organismo, con el objetivo de describir las características físicas, evaluar y monitorizar el crecimiento, nutrición y los efectos de la actividad física

-Bioimpedancia eléctrica (BIA): Según Alvero (2011) se basan en la estrecha relación que hay entre las propiedades eléctricas del cuerpo humano, la

composición corporal de los diferentes tejidos y del contenido total de agua en el cuerpo.

-Capa celular: Según Alvero (2011) es la capa que conforma la célula, y que actúa como aislante eléctrico a bajas frecuencias.

-Diagnostico: Es la labor médica para detectar o descartar una enfermedad, siendo realizada mediante una exploración (síntoma) y seguida de una observación meticulosa (signo), que puede utilizar algún contacto o interacción por parte del médico.

-Espectroscopia: Según Alvero (2011), método de bioimpedancia que utiliza el análisis de la respuesta de la masa corporal en frecuencia.

-Impedancia resistiva (R): Según Alvero (2011) representa la resistencia de los tejidos al paso de una corriente eléctrica.

-Impedancia reactiva (Xc): Según Alvero (2011) es la oposición adicional debida a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares (es el llamado componente dieléctrico).

-Índice de masa corporal (IMC): ecuaciones que utilizan la talla, el peso y la edad de la persona para determinar el estado de salud.

-Insuficiencia renal crónica (IRC): Según Gomez (2014). La insuficiencia renal crónica (IRC) se define como la pérdida progresiva, permanente e irreversible de la tasa de filtración glomerular a lo largo de un tiempo variable, a veces incluso de años, expresada por una reducción del aclaramiento de creatinina estimado < 60 ml/min/1,73 m2.

-Insuficiencia renal aguda (IRA): es la perdida porcentual de la tasa de filtración glomerular debido a una lesión o golpe, siendo de corta duración el tratamiento para recuperar el funcionamiento de la tasa de absorción glomerular.

-Masa corporal: Según Manual de laboratorio de fisiología (2015). La composición promedio del cuerpo humano es de 60% agua que se presenta como liquido intra y extra celular, y el restante un 40% que se distribuye como: 18% de proteínas, 15% de grasa y 7% de minerales;

-Masa grasa: Según Manual de laboratorio de fisiología (2015). Conforma el 15% de la masa corporal.

-Monofrecuencia: Según Alvero (2011), señal eléctrica en una sola frecuencia (fija).

-Monitoreo de pacientes: Según Sued (2010), un sistema de monitoreo de pacientes implica la “recolección sistemática de la información de los eventos clínicos que ocurren en pacientes con determinada patología.

-Multifrecuencia: Según Alvero (2011), señal eléctrica que trabaja en dos o más frecuencias diferentes.

CAPITULO VII: ANEXOS

FICHA DE EVALUACION			
1) Datos generales			
• Razón social de la empresa/ institución	JP REHAB S.R.L.		
• Área o departamento donde realizo la actividad	Ingeniería y soporte técnico.		
• Nombre y cargo del profesional responsable	Ingeniero Herrera Medina Miguel Angel.		
• Periodo de labores (horas laborables)	48 horas semanales.		
• Nombre del bachiller	Jeampierre Antony Moreno Marcani		
• EP (escuela profesional)	Ingeniería electrónica		
• Facultad	Ingeniería electrónica, eléctrica y telecomunicaciones		
• Universidad	Universidad Nacional Mayor de San Marcos		
2) Evaluación	**Óptimo**	**Bueno**	**Deficiente**
a) Conocimientos	x		
b) Iniciativa	x		
c) Habilidad	x		
d) Cooperación (trabajo en equipo)	x		
e) Capacidad organizativa		x	
f) Eficiencia		x	
g) Dedicación	x		
h) Cumplimiento (trabajo bajo presión)		x	
i) Puntualidad	x		
j) Asistencia	x		
Sub total			
Total			