



Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación:

“Análisis del sistema de red de sensores para obtener impedancia y el ángulo de fase de la impedancia eléctrica para detectar estado de salud (nivel de nutrición) en pacientes con enfermedades crónicas renales”

Autor: Atencio Mauricio, Enrique Alcides - 1525315

Para obtener el Grado de Bachiller en:

Ingeniería Biomédica

Lima, Diciembre 2019

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar la composición corporal del ser humano el cual está constituido principalmente por agua, minerales, grasas, proteínas y las variaciones que presenta al someterse al estímulo eléctrico con una intensidad de corriente pequeña a diferentes valores de frecuencias, esto se realizara mediante un sistema mediante bioimpedancia eléctrica, describir los componentes resistencia (R) y reactancia (Xc) y el análisis del valor de ángulo de fase (G°) del cuerpo humano al ser sometido a esta técnica de medición biomédica. La bioimpedancia eléctrica y su precisión de medir los parámetros principales como el estado de nutrición e hidratación en los tejidos ya que este es un parámetro muy importante para evaluar el estado de salud de una persona con algún tipo de enfermedad crónica renal.

El procedimiento de adquisición de datos (señales fisiológicas) consiste en una red de sensores electrodos, los cuales esta red será colocada en la persona mediante un método no invasivo para lograr realizar el estudio. La bioimpedancia eléctrica (BIE) aplicada para la medición de hidratación en los tejidos, órganos es un procedimiento que se realiza con mayor énfasis en los últimos 20 años y el cual está demostrando que con su gran precisión puede indicar el tiempo de sobrevivencia sobre todo de la persona con diálisis y con otras enfermedades.

Los resultados obtenidos de la medición BIE, varía en un rango de 100Ω a 1500Ω en y el valor del ángulo de fase varía de 1° a 9° grados, se obtiene el valor promedio para personas saludables 6.7° en hombres y 6.5° en mujeres, estos datos son fundamentales para poder determinar el tiempo de sobrevivencia de las personas y en los pacientes que sufren de alguna enfermedad crónica renal.

Palabras clave: Impedancia eléctrica, biosensor, red de sensores, enfermedad crónica, diálisis, nutrición.

ABSTRACT

The present work has as its main objective to analyze the body composition of the human being, which is mainly constituted by water, minerals, fats, proteins and the variations that it presents when undergoing an electrical stimulus with small current intensity at different frequency values. This will be carried out by means of a system using electrical bioimpedance, describing the resistance (R) and reactance (X_c) components and also the analysis of the phase angle value (G°) of the human body when subjected to this biomedical measurement technique. The electrical bioimpedance and its accuracy of measuring the main parameters such as the state of nutrition and hydration in the tissues since this is a very important parameter to assess the health status of a person with some type of chronic kidney disease.

The data acquisition procedure (physiological signals) consists of a network of electrode sensors, which this network will be placed in the person through a non-invasive method to carry out the study. The electrical bioimpedance (BIE) applied to the measurement of hydration in the tissues, organs is a procedure that is carried out with greater emphasis in the last 20 years and which is demonstrating that with its great precision it can indicate the survival time especially of the person with dialysis and other diseases.

The results obtained from the BIE measurement, varies in a range of 100Ω to 1500Ω and the value of the phase angle varies from 1° to 9° degrees, you get the average value for healthy people 6.7° in men and 6.5° in women, these Data are essential to determine the survival time of people and patients suffering from chronic kidney disease.

Keywords: Electrical impedance, biosensor, sensor network, chronic disease, dialysis, nutrition.

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres, hermanos, y amigos que me proporcionan el apoyo constante y me guiaron para lograr mejorar cada día más.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi profesor por el constante apoyo para poder realizar el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	ix
CAPITULO I: ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1 Planteamiento del Problema	12
1.1.1 Problema General.....	12
1.1.2 Problemas Específicos	12
1.2 Definición de objetivos	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Alcance de la investigación	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 Problemas similares y análisis de soluciones empleadas	14
2.1.1 Medición de la impedancia eléctrica corporal en pacientes renales crónicos.....	15
2.2 Tecnologías/técnicas de sustento	16
2.2.1 Composición corporal.....	16
2.2.2 Índice de masa corporal.....	17
2.2.3 Estado de nutricional.....	18
2.2.4 Bioimpedancia corporal.....	19
2.2.5 Red de sensores inalámbricos.....	19
2.2.6 Topologías de red	19
2.2.7 Arquitectura de los nodos sensoriales.....	20
2.2.8 Electrodo.....	22
2.2.9 Bioimpedancia eléctrica corporal	22
2.3 Diseño Metodológico	23
2.3.1 Tipo de investigación.....	23
2.3.2 Método de investigación.....	23
CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	24
3.1 Soluciones a evaluar.....	24
3.2 Diagnóstico nutricional y el riesgo de mortalidad.....	25
3.3 Criterios de selección	26
3.4 Sistema propuesto para la medición de impedancia corporal.....	27
3.5 Estudio de viabilidad técnica	28
3.6 Diseño del sistema.....	28

3.7 Acondicionamiento de la señal.....	29
3.8 Conversión analógica digital.....	29
3.9 Procesamiento de datos.....	30
3.10 Recursos necesarios	30
3.11 Edt.....	31
3.12 Hoja de ruta.....	32
CAPITULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	33
4.1 Análisis de los resultados de la investigación.....	33
4.2 Desnutrición.....	34
4.3 Beneficios y desventajas del análisis por impedancia eléctrica.....	34
4.4 Relación de impedancia y ángulo de fase.....	35
4.4.1 Los riesgos asociados al valor de ángulo de fase.....	35
4.5 Los resultados de la bioimpedancia aplicados en pacientes crónicos renales.....	37
4.5.1 Medición de bioimpedancia con 4 electrdos.....	38
4.6 Matriz de consistencia.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS	43

Índice de figuras

Figura 1. Los cinco niveles para evaluar la Composición Corporal.	17
Figura 2. Valores relativos de resistencia y peso aproximados correspondientes a los diferentes segmentos corporales.....	17
Figura 3. Topología estrella.....	20
Figura 4. Diagrama en bloques de los componentes de un nodo sensor.....	21
Figura 5. Componentes de la Impedancia (Z).....	24
Figura 6. Multifrecuencia y valor de impedancia.....	26
Figura 7. Diagrama en bloques de todos los componentes necesarios para la BIE.....	26
Figura 8. Se observa las dos formas de ubicar los 4 electrodos para la medición BIE.....	27
Figura 9. Diagrama de bloques	27
Figura 10. Impedance measurement using two electrodes.	28
Figura 11. Esquema del modelo de bioimpedancia de cuatro electrodos	29
Figura 12. Angulo de fase para pacientes con enfermedades crónicas.....	36
Figura 13: Resultados de la variabilidad de la impedancia corporal diferencial en sujetos con insuficiencia renal.....	36
Figura 14. Imágenes cedidas por el Grupo EPINUT UCM ref. 920325. A: Analizador BIA tetrapolar, BodyStat® 1500 y B: Colocación de los electrodos.	38
Figura 15. (a) Medida de la BIA modelando el cuerpo humano como un solo cilindro. (b) Distribución de la resistencia por los segmentos del cuerpo.	38

Índice de tablas

Tabla 1. Intervalos del Índice de Masa Corporal IMC.....	18
Tabla 2. Equipos e instrumentos.....	30
Tabla 3. Componentes para el estudio de bioimpedancia.....	30
Tabla 4. Hoja de ruta.....	32
Tabla 5. Tabla comparativa de antropometría y la bioimpedancia.....	33
Tabla 6. Los valores de ángulo de fase que corresponde a los niveles de estado nutrición.....	35

INTRODUCCIÓN

Actualmente el control y prevención de salud ha tomado gran interés en las personas, poder saber si un niño va creciendo de forma saludable reducirá el riesgo de que cuando sea adulto sufra alguna enfermedad crónica, para los deportistas es importante saber si las actividades físicas que realiza diariamente están mejorando su condición de salud. Esta condición se puede evaluar y monitorear con 3 principales técnicas diferentes, primero son los equipos de laboratorio sofisticados y costoso, el segundo método son las medidas clásicas medidas de antropometría el cual con datos de edad, talla, peso, sexo, nivel de actividad física que realiza y aplicando las fórmulas ecuaciones de Durning/Womersley y Jackson/ Pollock nos determinan de manera rápida y de bajo costo los índices de masa corporal pero ello no evalúa por ejemplo en la obesidad no diferencia la composición corporal la cual tiene los componentes de masa grasa y la masa libre de grasa, por lo tanto no nos proporciona mucha información clínica, y por último la técnica del sistema de bioimpedancia eléctrica es la técnica no invasiva de bajo costo y gran precisión y exactitud para diferenciar tejidos, y tener una eficiente medida de la composición corporal, y adicionalmente se puede medir parámetros fisiológicos como la frecuencia cardiaca y la tasa respiratoria.

La tecnología cada vez nos permite obtener dispositivos más pequeños y con mayores capacidades para realizar procesamiento de señales eléctricas y de mayores capacidades de almacenamiento de datos, uno de estos dispositivos son los medidores de impedancia eléctrica.

La impedancia eléctrica es una de las técnicas para determinar las cantidades de que está compuesto una persona, es un valor de resistencia que existe para conducir la corriente alterna con muchas aplicaciones en campos de la electrónica y electricidad y en estos últimos 20 años se empezó a utilizar con mayor aplicación en tejidos u órganos del cuerpo humano ya que en un inicio se usaba tiras reactivas, etc., y no se usaba en campo de la biomedicina, debido a que no se tenía idea de la gran precisión de sus resultados y cada vez se va usando en mayores aplicaciones como medir el gasto cardiaco de una persona a través de electrodos de impedancia eléctrica, medir la frecuencia respiratoria, medir la desnutrición e hidratación del cuerpo humano.

Las aplicaciones con el sistema de impedancia eléctrica van en aumento estos últimos años, se puede detectar algunas enfermedades y nos permite monitorear de manera

muy exacta el nivel de bienestar de salud de las personas ya que la impedancia eléctrica se basa en la capacidad conductiva del cuerpo humano el cual está constituido de más del 65% de líquido corporal, y el cual al ser sometida a una frecuencia fija de este rango de valores 1khz a 1000khz, varia el nivel de conductividad y el valor de resistencia conductiva toma el nombre de impedancia eléctrica o precisando mejor, se denominaría bioimpedancia eléctrica (BIE).

Al sistema de bioimpedancia eléctrica se le puede incorporar el uso de un dispositivo inalámbrico, el cual nos permite analizar e interpretar mejor los resultados de los índices de las enfermedades y poder enviarlas a un laboratorio especializado y almacenar estas mediciones en una sistema de datos para posteriormente acceder a ellos desde cualquier lugar, estaría en internet y puede ser descargado por un personal de salud encargado para su revisión, de esta manera se puede prevenir un accidente de forma eficiente, el uso de un Smartphone como dispositivo de medición médico actualmente se está evaluando y va requerir tiempo para que sea aprobado y registrado en la FDA (administración de drogas y alimentos) y en la CE (Comunidad Europea).

Se espera que en los próximos años sea desarrollado un sistema más compacto que integre en un Smartphone los dispositivos necesarios para realizar el análisis a través de sus sensores como el uso de la cámara para usarlo en un lector óptico de la sangre y otros sensores más de los signos vitales de la persona y que también se pueda visualizar con imágenes o gráficas el resultado, el Smartphone debe ser capaz de obtener un aprendizaje automático mediante el uso de una red de sensores artificiales para que pueda clasificar las enfermedades de forma automática y mostrar los resultados en un menor tiempo, con ello obtendríamos un control más eficiente de las enfermedades.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Son muchas las personas que sufren de enfermedades crónicas renales en la ciudad de Lima, y cada vez esta cifra va creciendo debido a que no existe una política de control y monitoreo constante del bienestar de salud en todas las personas, los dispositivos de laboratorio son los que realizan ese control evaluando y diagnosticando enfermedades, lo que no es muy usado actualmente son los dispositivos de bioimpedancia eléctrica ya que con su precisión y exactitud puede determinar el nivel de nutrición e hidratación de los tejidos, esto resultaría un medio más accesible y nuevo para poder llevar un tratamiento oportuno y lograr una mejora de salud oportuna.

Según la OMS (2015), el 10% de las personas en todo el mundo sufren de alguna enfermedad crónica renal, el cual la mayoría de los casos la única posible solución de mejora es la del trasplante de riñón el cual no es muy accesible para todos por el precio y además es un método muy riesgoso.

Actualmente la tecnología nos ofrece dispositivos de monitoreo y diagnóstico gracias a los algoritmos que estos incorporan y gran base de datos de enfermedades incorporados al sistema para que internamente a través de su red de sensores artificiales realicen la clasificación y puedan determinar la patología que presenta la persona, para adquirir la señal se esta podría usar los electrodos del tipo flotante para la impedancia eléctrica que son similares para obtener la señal electrocardiograma, podemos obtener el ángulo de la impedancia eléctrica, la frecuencia respiratoria, medir la glucosa.

El autor Rossi Estefanno (2017). Realiza mediciones de bioimpedancia en los órganos para medir su conductividad a través de un dispositivo portátil que cuenta un parche en el cual se encuentra los electrodos.

La bioimpedancia nos ofrece los resultados de una forma práctica en el uso y como resultado una buena precisión, por lo que actualmente este sistema de bioimpedancia eléctrica (BIE) se encuentra actualmente mejorando y todos los parámetros que pueda medir no están totalmente determinados.

1.1.1 Problema general

¿Cómo determinar el estado de salud de pacientes con Diálisis, con un sistema de red de electrodos que obtenga el valor de impedancia y el valor del ángulo de fase de impedancia eléctrica?

1.1.2 Problemas específicos

¿Cuál es el porcentaje de personas que sufren de enfermedades crónicas renales en la ciudad de Lima?

¿Cómo determinar el ángulo de fase y cuál es su interpretación clínica?

¿Cuáles son los resultados de pacientes monitorizados por impedancia eléctrica?

¿Es preciso los resultados de la medición de bioimpedancia eléctrica?

¿Cómo mejorar el sistema de adquisición de señales biológicas usando un sistema de red de sensores?

¿Cuáles son los beneficios de ser analizado por un sistema de bioimpedancia eléctrica?

1.2 Definición de Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar y comparar los beneficios que nos proporciona la bioimpedancia eléctrica como medida preventiva de salud y determinar del bienestar de salud en las personas con enfermedades crónicas renales, para poder monitorizar y diagnosticar un posible tratamiento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar que alimentos mejoran la composición corporal.
- Analizar alteraciones nutricionales.
- Determinar el tiempo de actividad física (ejercicios) debe realizar una persona para mantener la salud constante y mejorar.
- Analizar el número de personas que sufren de enfermedades crónicas renales en la ciudad de lima.
- Obtener el ángulo de fase de la bioimpedancia e interpretación y la información clínica proporcionada.
- Analizar y evaluar los datos de pacientes que tengan enfermedades crónicas renales en lima

- Proponer el diseño de un sistema de monitoreo de bienestar de salud usando una red de sensores inalámbrico.
- Estudiar los nuevos métodos de entrada para la adquisición de señales biológicas como interfaz entre el cuerpo del paciente y sistema electrónico.
- Analizar el nivel de nutrición en las personas, como un indicador de riesgo en pacientes con diálisis.

1.3 Alcance del trabajo de investigación

El alcance que tiene este trabajo de investigación es analizar datos y cifras estadísticas de pacientes que tienen enfermedades crónicas renales y lograr establecer comparaciones de los datos obtenidos por laboratorio y por el método de impedancia eléctrica, y que se espera poder ser incorporado en los hogares y posteriormente sistemas más sofisticados con mayor cantidad de parámetros ubicados el servicio de Nefrología de los hospitales nacionales

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Problemas similares y análisis de soluciones empleadas

En el trabajo del desarrollo de un sensor de bioimpedancia para el reconocimiento de glucosa, la variable a monitorizar es el nivel de glucosa y según este valor se administra un nivel adecuado de insulina/glucagón, usando biosensores de impedancia se logra diferenciar la glucoquinasa desocupada y la glucosa unida, la unión de moléculas es captada por el sensor de bioimpedancia los cuales son micro electrodos, la superficie del micro electrodo usada es de $780 \mu\text{m}^2$, considerándose una mejora al uso de las tradicionales tiras reactivas. (Rose ,2007, pag3)

En el trabajo de (Rotariu,2015) sobre el diseño de una red de sensores inalámbricas para vigilancia remota por bioimpedancia nos explica de las ventajas que nos proporciona usar sensores inalámbricos ya que el paciente logra una mayor comodidad y libertad para realizar los movimientos corporales, ya que estar conectado a cables lo limita demasiado y también la posibilidad de ir enviando esa información inalámbricamente desde el nodo sensor a un servidor ubicado a ciertas distancias.

“Measurements of the patient’s electrical bioimpedance have proven their validity in many medical applications including body composition analysis, psycho-physiological processes [4], respiration frequency analysis [5], assessing hydration status or visceral fat accumulation [6], detection of melanoma, or other skin related diseases [7]. A very successful application of remote bioimpedance monitoring includes body performance in several fields of sports. (Rotariu,2015)”

La aplicación de los sensores de bioimpedancia también incluye en el área de deporte ya que analiza la composición corporal fisiológica, puede analizar la frecuencia respiratoria, evalúa el nivel de hidratación y acumulación de la grasa, detección de enfermedades relacionadas a la piel y así dar un análisis de rendimiento del deportista.

Otros antecedentes es la del dispositivo portátil multicanal para detectar la onda de pulso usando un sistema de medida por bioimpedancia utilizando un micro controlador con 4 canales que trabajan junta y de manera independiente y un

conversor análogo digital de 24 bits, con muestreo de 1000 impedancias por segundo, con almacenamiento y análisis de datos una interfaz bus serial con una computadora; la aplicación que se le da a este trabajo es la de mostrar la gráfica de la señal de la onda de pulso y su desplazamiento respecto al tiempo, según el autor Kusche,2018: *“Instead of performing pressure measurements, the pulse wave can also be acquired by bioimpedance measurements, called impedance plethysmography* (Kusche,2018). Explica además que el método como se adquiere los valores es aplicando una señal eléctrica del rango 10khz a 1 MHz y la sangre tiene una mayor conducción que otros tejidos, grasas y músculos, y logra medir la variación del volumen de sangre debido a que varía el diámetro de las arterias debido a la presión de la onda de pulso y esa variación la puede medir los electrodos de bioimpedancia de forma no invasiva y menos incómoda de usar los métodos de medición de onda de pulso como los sensores de presión los cuales son muy incómodos para el paciente.

2.1.1 Medición de la impedancia eléctrica corporal en pacientes renales crónicos

La OMS (2015) proporciona cifras alarmantes, aproximadamente el 10 % de la población sufre una enfermedad crónica renal, el cual es una enfermedad en una etapa avanzada sin medidas preventivas ocasiona la muerte de las personas. Es por ello necesario establecer medidas de control y que se encuentren disponibles para las personas.

Un estudio de la Medición de la variabilidad de la impedancia eléctrica corporal con una población de 17 personas sanas y con problemas renales crónicos, edad entre 20 a 85 años, se usaron electrodos en las extremidades superiores e inferiores, se obtiene el promedio de impedancia para los pacientes con enfermedades crónicas renales. Esto se logra inyectando a través del cuerpo una corriente alterna usando los transductores de tipo piel con adhesivo. (Calle 2014, p.3)

Cuando se realiza la medición de impedancia a bajas frecuencia menor a 1khz la señal viaja a través de la superficie corporal y a una frecuencia alta se observa que la señal atraviesa estos tejidos y pasa por el líquido intracelular, con este método obtenemos características del “peso seco” (peso al finalizar la diálisis el cual elimina el exceso de líquido y la persona se siente mejor)

La determinación de la masa corporal se ha convertido en la actualidad en una herramienta indispensable para determinar el estado nutricional y de hidratación (por defecto o exceso) en los humanos. Muchas enfermedades se acompañan del cambio de impedancia corporal, lo cual se observa con frecuencia en pacientes que padecen de Insuficiencia Renal Crónica, cuyo único tratamiento temporal es la hemodiálisis con el objetivo de lograr posteriormente una sustitución exitosa de los órganos dañados a través de una intervención quirúrgica (Calle,2014).

El autor A. Calle Herranz (2014) menciona que hay una relación de la cantidad de líquido que se intercambia en el proceso de diálisis (agua, nutrientes y toxinas con el líquido de diálisis) lo cual si no es de una forma equilibrada ocasiona daños posteriores y reflejando en el cambio de valores impedancia corporal de la persona, para ello es necesario un método de monitorización por impedancia bioeléctrica, con ello medir la impedancia Z el módulo y el ángulo de fase G , usando electrodos de piel con diferentes frecuencias entre 5khz hasta 55khz y se procede a registrar los valores obtenidos obteniendo un valor promedio de impedancia de 125.3 ohm. y en el proceso de diálisis una persona promedio tiene que perder 3.5 kilogramos para que la persona mejore su estabilidad y calidad de vida, con este control se evitaría efectos secundarios, como variación de la temperatura corporal y cambio de presión arterial.

2.2 Tecnologías/técnicas de sustento

2.2.1 Composición corporal

El cuerpo humano está constituido en mayor porcentaje en agua, luego sigue la masa grasa que es la fuente de reserva de energía, en pequeño porcentaje están los minerales y proteínas que se encuentran en los tejidos, huesos y órganos.

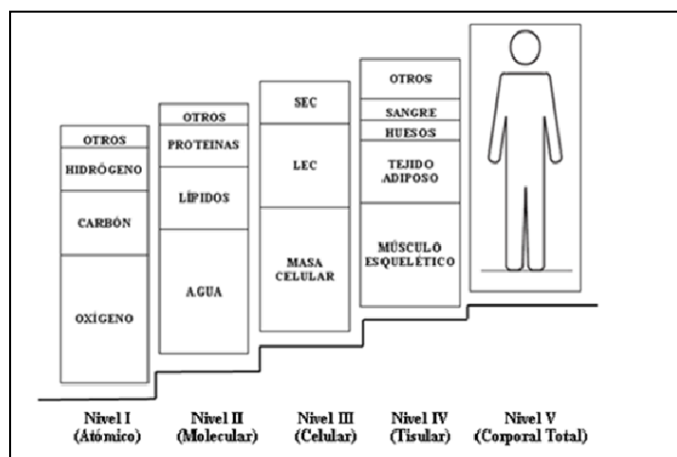


FIGURA 1. Los cinco niveles para evaluar la Composición Corporal. Tomado de Wang. SEC: Sólidos extracelulares; LEC: Líquidos extracelulares. (Rodríguez, 2017,p.30).

El autor nos muestra la representación de la composición corporal total en 5 niveles, donde al estimar los compartimentos corporales se puede estudiar la composición corporal y compararla con otras técnicas de medición.

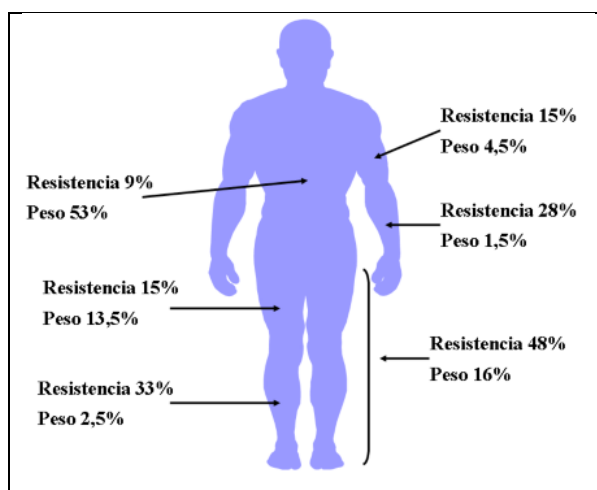


FIGURA 2. Valores relativos de resistencia y peso aproximados correspondientes a los diferentes segmentos corporales. (Bellido, 2015, p. 149)

El autor muestra un modelo de la composición corporal, en secciones de cada parte del cuerpo y en cada parte se muestra el valor aproximado de resistencia y peso.

2.2.2 Índice de Masa corporal

El índice de masa corporal (IMC) es un valor estandarizado por la organización mundial de la salud (OMS) para determinar los riesgos relacionados con peso corporal en las personas.

La fórmula para calcular el índice de masa corporal:

$$\text{IMC} = (\text{peso}/\text{talla}^2)$$

Tabla 1
Intervalos del Índice de Masa Corporal IMC

ESTADOS	Puntos de Corte IMC
Bajo de peso	MENOR A 18.5
Normal	18.5 A 24.9
Sobrepeso	25 a 29.9
Obesidad grado 1	30 a 34.9
Obesidad grado 2	35 a 39.9
Obesidad grado 3	MAYOR A 40

La OMS, muestra los rangos de los valores de índice de masa corporal respecto a la variación de peso corporal. Estos datos válidos para niños, jóvenes y adultos, nos permitirá tomar acciones si los alimentos están mejorando la condición de salud.

Este factor IMC es considerada como predictor de la enfermedad tipo Diabetes y posibles riesgos de tener enfermedad de presión alta.

2.2.3 Estado nutricional

El estado nutricional en las personas está en constante cambio, por lo q es necesario medir en el momento que se desea saber cómo se encuentra los índices corporales como el IMC.

Si el valor obtenido está en el rango establecido entonces indicaría que la ingesta de alimentos es adecuada para mantenerlo hidratado y en buen estado los órganos, asimismo nos aseguramos de que irán creciendo y desarrollándose bien y tendrá buena respuesta cuando se presenta alguna enfermedad.

2.2.4 Bioimpedancia eléctrica

El término de bioimpedancia eléctrica según el autor (Bellido ,2014): *“La bioimpedancia (BIA) es una técnica indirecta de composición corporal que mide agua corporal total (ACT) y estima masa grasa (MG) y masa libre de grasa (MLG) mediante ecuaciones predictivas basadas en técnicas de referencia. El ángulo de fase (AF) se calcula a partir de parámetros crudos de BIA (resistencia y reactancia).”* Además, la medida de la impedancia se expresa en ohm y presenta dos componentes, el primero un componente resistivo (principalmente por el contenido de agua) a mayor agua será menor la resistencia y el segundo componente es el capacitivo (se debe a la capacidad de las células de almacenar corriente, la membrana celular es el conductor y el contenido celular como los lípidos sería el equivalente al dieléctrico de un condensador), también esos 2 componentes forman un Angulo de fase “AF” el cual se ha demostrado con diversos ensayos que es un muy preciso indicador del estado nutricional y funcional de las personas y se le asocia a con la relación con factores de riesgo cardiovascular y en pacientes con diálisis es una herramienta que debería ser incorporada en los procesos de la hemodiálisis)

2.2.5 Red de sensores/electrodos inalámbricos

La red de sensores/electrodos inalámbricos está conformada por varios nodos distribuidos espacialmente, los cuales usan sensores para monitorear diferentes variables como pueden ser, la temperatura, humedad, vibraciones del sonido, movimientos y demás. Los nodos pueden ser considerador fijos o móviles

Las WSN (redes de sensores inalámbricas) permite una flexibilidad de implementación, donde se puede realizar el almacenamiento y poder acceder a revisar los datos, en el momento de ser requeridos, se establece entonces como la unidad básica de una WSN al nodo sensor.

2.2.6 Topologías de red

La topología se refiere a la manera como son distribuidos los componentes hardware de la WSN y a la manera como los datos son transmitidos por la

red. Se debe analizar, cual es la topología más apropiada que se ajuste a las necesidades específicas para cada aplicación. (Aparicio,2013, p.5)

Asimismo, existen diferentes tipos de topología entre estos se encuentra el tipo estrella y el de punto a punto, el primero tiene comunicación con un coordinador central y este puede comunicarse con otro coordinador central. Mientras que, la topología de punto a punto establece la comunicación entre todos los nodos que se encuentren conectados al mismo punto

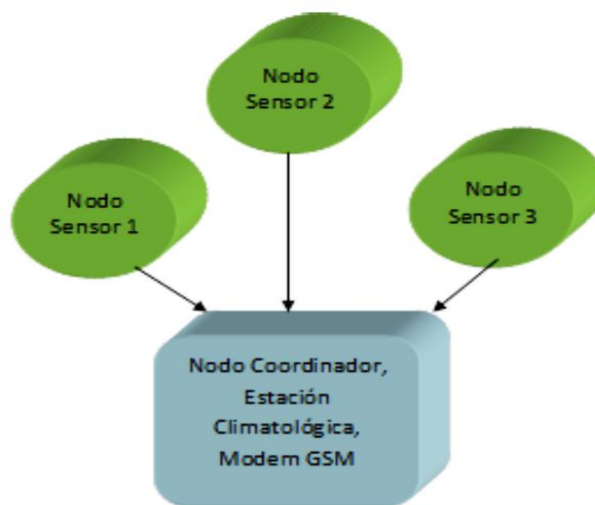


FIGURA 3. Topología estrella, se caracteriza por que la información de cada uno de los 3 nodos sensor no puede pasar a otro nodo, solo comunica a su nodo coordinador y a través de este nodo coordinador para poder comunicarse con el siguiente nodo de otro grupo. (Aparicio,2013, p.6)

Esto quiere decir que el nodo coordinador será un circuito integrado programable (PIC), el cual se encargará de procesar todas las señales análogas que envíen cada uno de los nodos para poder digitalizarlas y poder transmitir las a través de un modem transmisor de forma remota a diferentes puntos de análisis.

2.2.7 ARQUITECTURA DE LOS NODOS SENSORIALES

Los nodos sensores son considerados como los puntos estratégicos donde se convierte la señal fisiológica a una señal eléctrica y un conjunto de ellos forman una red de sensores inalámbricas, la cual permite realizar la adquisición completa de la señal y poder enviarlas a

otro punto del o a otro sensor más cercano y también enviar esa información a un punto de almacenamiento, para así poder procesarlo y enviar la información de manera inalámbrica a través de sus periféricos de salida del microcontrolador.(Guevara ,2016, p14)

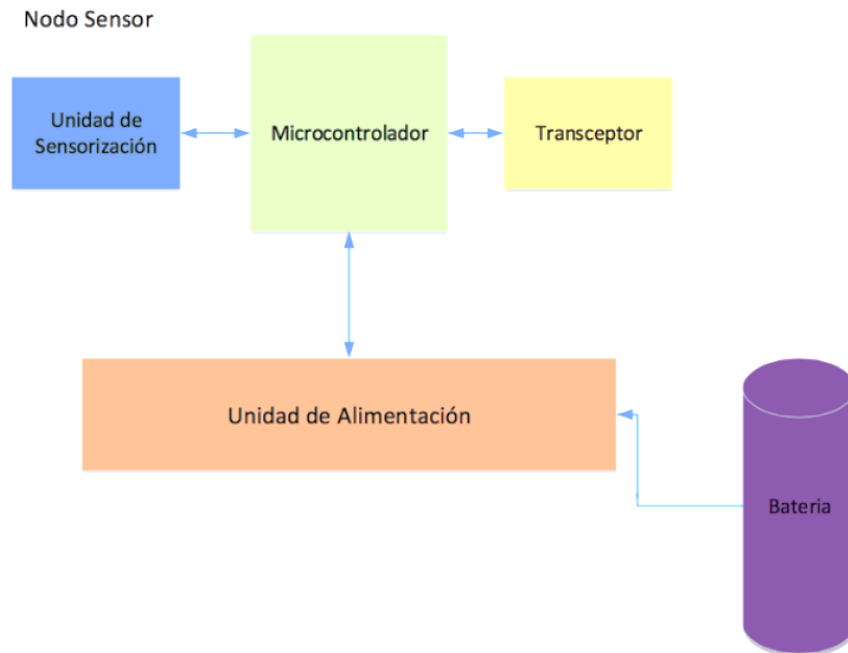


FIGURA 4. Diagrama en bloques de los componentes de un nodo sensor (Guevara ,2015, p.15)

Las etapas que conforman un sistema de procesamiento de señales van a requerir de una unidad de sensores el cual se encargara de convertir la señal fisiológica a una señal eléctrica variable en el tiempo, la siguiente etapa es la unidad de procesamiento donde se almacenan las ecuaciones y realiza las operaciones lógicas, muestrea la señal y la procesa, la tercera etapa es la de transceptor el cual permitirá transmitir la información de manera inalámbrica a cualquier punto. Para que todo funcione correctamente es necesario que tenga un sistema de energía eléctrico, y para que el dispositivo sea portátil y recargable, se va a utilizar una batería recargable del tipo litio ya que es de alta duración. (Guevara ,2015, p15)

Los tipos de nodo MizaZ, TeloB tienen características no modificables, debido a que son componentes fijados en una placa. La segunda es la del tipo arquitectura de capas, la cual es flexible y por ello modificable según el tipo de utilidad o área de trabajo. La tercera se tiene dispositivos reconfigurables y adaptativos no requieren

ninguna modificación del tipo hardware con lo cual se diferencia de la anterior en la cual modificamos ciertos componentes.

2.2.8 ELECTRODOS

Los electrodos son dispositivos capaces de adquirir señales biomédicas del cuerpo, en el caso de electrodos de electrocardiograma, estos son capaces de transformar biopotenciales, según el autor (Varela, Rivera, Espina y De La Rosa, 2015, p. 2)

Las señales fisiológicas al tener una amplitud pequeña del orden de milivoltios, es probable que pierda información o alterarse debido a interferencia de otras señales, el electrodo del tipo flotante de material Ag/AgCl está diseñado para poder pegarse a la piel y también protege del ruido debido al movimiento muscular evitando que altere la señal que se va a medir, la desventaja es que no se puede usar para monitorizar continuamente al paciente.

2.2.9 BIOIMPEDANCIA ELECTRICA CORPORAL

La bioimpedancia es la respuesta del cuerpo al paso de una energía alterna el cual tiene una corriente muy baja el cual no ocasiona incomodidad ni daño, esta resistencia en ohmios va a presentar 2 componentes uno resistivo y el otro capacitivo, la respuesta de eso depende de la composición de los tejidos y los valores de conducción que se obtenga determinará las características que presenta. (Sanchez, 2015, p.133)

La impedancia eléctrica en un circuito eléctrico es presentada con una letra "Z", y se denomina como la oposición a la circulación de corriente y medio que se ofrece al paso de la corriente en este caso la corriente alterna, la unidad q lo expresa es el ohmio, la corriente alterna también establece un valor de frecuencia y su unidad es el Hertz o número de ciclos por minuto, y la impedancia se calcula dividiendo el voltaje entre la intensidad, en la bioimpedancia estas señales se procesan de la misma forma solo que el medio conductor es el cuerpo de la persona el cual está constituido en gran porcentaje de nivel de líquido el cual varia a la frecuencia de señal alterna que es sometido.

Las ventajas de la medición por bioimpedancia es que es una técnica muy precisa, método no invasivo y no ocasiona molestias mientras se realiza la prueba los resultados de los análisis de bioimpedancia deben ser comparados con el grupo de población a la cual pertenece clasificado por edad.

2.3 DISEÑO METODOLOGICO

2.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En este trabajo se realiza el análisis de datos y cifras estadísticas de las personas con enfermedades crónicas renales (ECR) y que se encuentran en proceso de diálisis.

2.3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene el siguiente método:

- 1) Comparativo.- Se ha realiza el análisis comparativo de los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el método de bioimpedancia eléctrica ya sea en pacientes sanos voluntarios y pacientes con algún tipo de enfermedad crónica renal, cuya población es joven-adulta.
- 2) Inductivo.- Se ha procedido a inferir un resultado en una tabla de niveles de nutrición de los pacientes, el cual permitirá determinar si el paciente mejora su calidad de vida y reducir el malestar debido a los procedimientos clínicos.

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION

3.1 SOLUCIONES A EVALUAR

La impedancia (Z), es un valor numérico complejo y su unidad es el ohm (Ω), este valor al ser un numero complejo tiene 2 componentes: la resistencia al paso de la corriente representada por (R) el cual determina el nivel de conducción del organismo y el segundo componente es la capacidad de la membrana celular de poder almacenar energía eléctrica similar al funcionamiento de un condensador, en el cuerpo humano solo existe reactancia capacitiva (X_c), y la unidad es el faradio.

Otro factor adicional es el ángulo de fase que normalmente es en grados hexadecimales cuyo valor normal es menor de 10° grados en las personas (y el además es el indicador de estado de nutrición. Según el autor Lopez 2011: “En resumen, mientras que la R determina preferentemente el estado de hidratación, la X_c determina preferentemente el estado nutricional.”

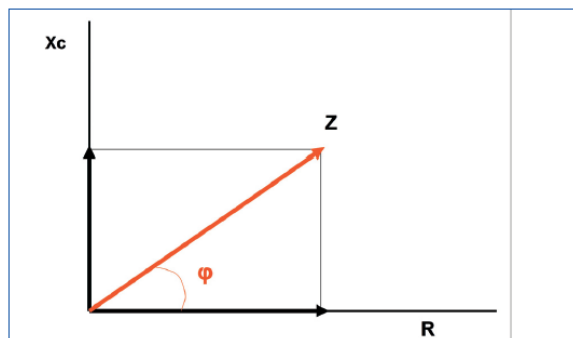


FIGURA 5. Componentes vectoriales de la impedancia eléctrica (Z). X_c : reactancia; R : resistencia; ϕ : ángulo de fase. (Lopez, 2011, p.630)

En esta grafica el autor nos muestra los componentes de la Impedancia y el ángulo de fase el cual es un indicador muy preciso de nutrición pero que aún tiene más información por explorar.

Se ha demostrado que el valor de ángulo de fase determina la condición de un paciente con enfermedad renal crónica. Podemos monitorizar al paciente y poder tomar acciones oportunas con la finalidad de disminuir la mortandad.

3.2 Diagnóstico Nutricional Y El Riesgo De Mortalidad

El desarrollo del sistema de medición de bioimpedancia corporal tiene como objetivo poder evaluar el estado de nutrición. Según el autor Lopez 2011: "El estado nutricional es un factor que condiciona de forma importante la mortalidad de los pacientes con enfermedad renal crónica".

La BIE (bioimpedancia eléctrica) proporciona datos muy exactos de la composición corporal. El sistema debe mostrar un resultado del análisis corporal y nutrición, el cual consideraremos para poder tomar medidas preventivas, podemos evitar cambios que afecten a los pacientes. Se podrá estimar la masa magra de la adiposa el cual varía dependiendo del estado de los pacientes.

Según el autor (Lopez, 2011): La BIE se clasifica en dos tipos BIE de mono frecuencia 50khz y la multifrecuencia (con frecuencias que oscilan de 5 Hertz a 1Mega Hertz).

En la BIE de monofrecuencia el valor de ángulo de fase que se obtiene es a una frecuencia fija de 50 kHz, en esta configuración el ángulo de fase y la componente de reactancia toman valores máximos.

Asimismo, el autor (Abad, 2011) menciona: Para poder analizar los resultados de las mediciones de impedancia, el sistema de medición requiere obtener el valor del ángulo de fase para un determinado valor de frecuencia que puede ser entre 1khz hasta 100khz, el valor de frecuencia que lo relaciona directamente la masa magra con el agua intracelular y el agua extracelular es de 50 kHz.

La bioimpedancia corporal se descompone en 2 vectores los cuales son la resistencia y la reactancia (debido a la membrana celular) y no existe componente inductivo =0. El valor de resistencia determina el estado de hidratación de tejidos y el segundo valor es la reactancia capacitiva y se encarga de medir la cantidad de almacenamiento de energía en los tejidos

La siguiente imagen se ve como varía el valor del modulo de impedancia respecto a la variación de la frecuencia, por ello también varía el valor del ángulo de fase.

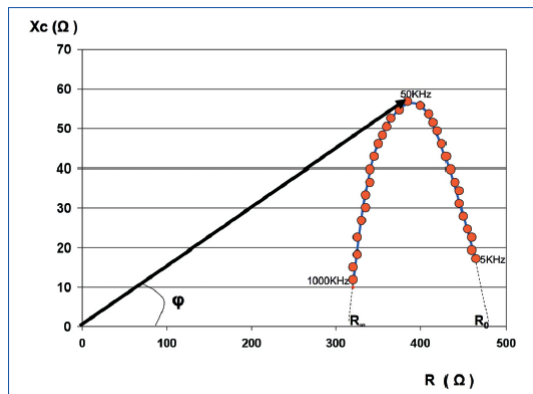


FIGURA 6. Representación gráfica de la impedancia multifrecuencia, donde cada punto corresponde a una frecuencia diferente (modelo de Cole-Cole). (Lopez,2011,p.631)

El autor representa como varía el módulo de impedancia (en ohm) para cada diferente valor de frecuencia.

3.3 Criterios de selección

Para la medición de la bioimpedancia es necesario seleccionar la cantidad y tipo de electrodo para realizar la medición de impedancia. Considerar la ubicación de los electrodos en las extremidades ver la figura 5

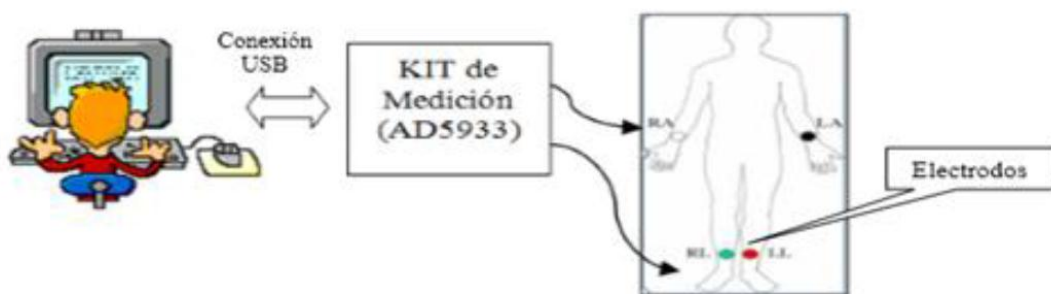


FIGURA 7. Sistema de medición para la caracterización de la impedancia eléctrica corporal. (Calle,2014,p.20)

El autor presenta un diagrama en bloques de todos los componentes necesarios para la BIE usando 4 electrodos del tipo flotantes los cuales también se utilizan para obtener el electrocardiograma.

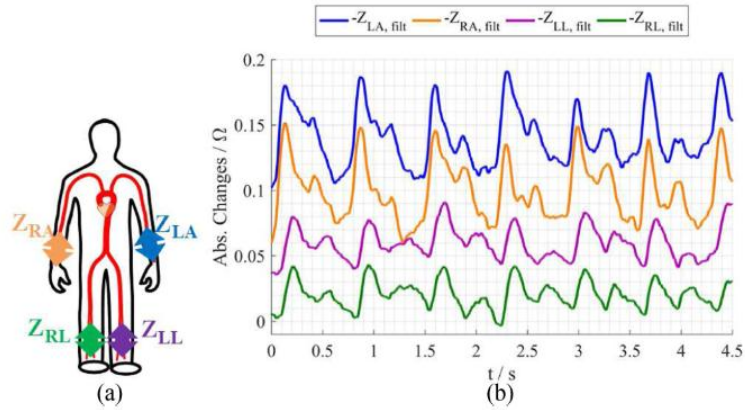


FIGURA 8. Measurement setup (a) to acquire the pulse wave at all four extremities and resulting impedances over time (b). In the plot, the four impedances are filtered and for better displaying offsets are added. (Kusche, 2018, p. 7)

En la figura 8 (a) se observa algunas consideraciones de colocación de electrodos y lograr la medición de bioimpedancia eléctrica se puede realizar ubicando los 4 electrodos (tetrapolar) de la siguiente forma, 2 en la mano derecha y 2 en el pie derecho y la figura 8 (b) muestra la señal de impedancia.

3.4 SISTEMA I

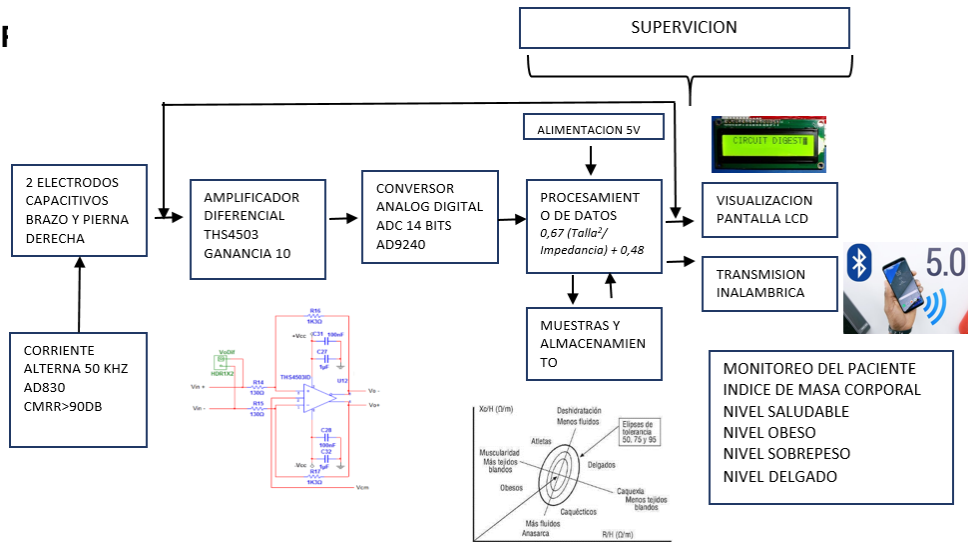


FIGURA 9. Fuente propia, Diagrama de bloques del sistema de medición por bioimpedancia eléctrica propuesta con un visualizador de diagnóstico el cual indica el nivel de salud.

3.5 Estudio de viabilidad técnica

El diseño del sistema de medición bioimpedancia, se va a desarrollar por medio de pruebas de simulación con software y con equipos de laboratorio como un osciloscopio y generador de funciones, los cuales nos proporcionaran datos confiables. Se realizará cálculos teóricos para valores de reactancia fija el cual se simularán con diferentes valores de condensadores que representara esa variación de los tejidos del cuerpo, se usara el generador de funciones y se energizara al circuito eléctrico equivalente al cuerpo humano.

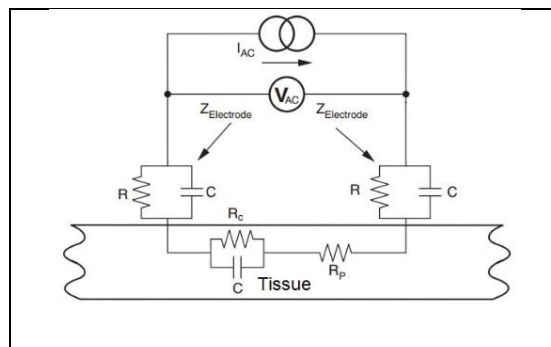


FIGURA 10. Impedance measurement using two electrodes. (Rotariu, 2015, p. 489). El autor muestra el modelamiento del tejido corporal usando 2 electrodos, y lo representa con resistencias y condensadores, se puede apreciar la impedancia de los electrodos y el generador que realiza la inyección de corriente y la medición de impedancia.

3.6 Diseño del sistema

A continuación, se va a describir un método general para el sistema de medición por bioimpedancia. Se plantea el siguiente proceso como una forma de medición de bioimpedancia estándar la cual nos permite obtener la forma de onda de la señal y para su posterior análisis:

Etapa 1

Adquisición de la señal fisiológica a través de los electrodos, para poder determinar la señal de entrada se debe establecer una señal AC de frecuencia estándar de 50khz con una amplitud de 1 Vpp, que es el valor donde la respuesta del cuerpo es mayor, y se va a generar una pequeña corriente en el cuerpo del grado de microamperios la cual no va a generar molestia.

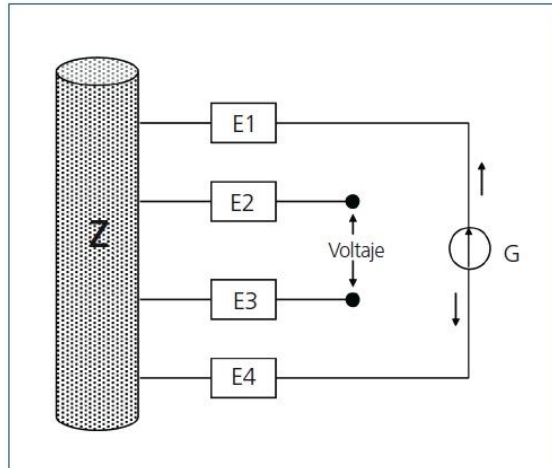


FIGURA 11. Esquema del modelo de bioimpedancia de cuatro electrodos Electrodo distales (E1 y E4), Electrodo proximales (E2 y E3). G: generador; Z: impedancia del medio biológico.(Sanchez, 2012, p.2)

La técnica que ofrece mejores resultados es utilizar 4 electrodos del tipo flotante. Para medir bioimpedancia es necesario utilizar un generador de señales configurado a señal senoidal con una frecuencia de 50khz una línea será ubicado en el primer electrodo ubicado en la mano derecha y la señal de tierra conectado al electrodo de la mano izquierda, el sistema de la adquisición de la señal se ubica un extremo en el 3er electrodo mano derecha el cual estaría ubicado no menor de 5 cm del primer electrodo y el segundo extremo en el 4to electrodo de la mano izquierda.

3.7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

La señal que es captada por los electrodos es del orden de los milivoltios, por ello se va a utilizar amplificadores operacionales del tipo no inversor con realimentación negativa, con una configuración que me aumente la ganancia 10 veces de la señal de entrada, adicional se plantea agregar un filtro análogo el cual permitirá eliminar la señal de ruido.

3.8 CONVERSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL

Para el procesamiento de la señal fisiológica es necesario que realicemos un muestreo y una cuantización de los valores de la señal, para ello se tiene que definir la resolución del conversor análogo digital, por sus siglas en inglés (DAC).

3.9 PROCESAMIENTO DE DATOS

Se va a desarrollar el algoritmo con las ecuaciones según los estándares para la medición de impedancia, las cuales van a determinar los valores de salida digital, mostrando la comparación de las características voltaje versus frecuencia y mostrarlas en una pantalla o con un osciloscopio.

3.10 RECURSOS NECESARIOS

Tabla 2
Equipos e instrumentos

N° DE ITEM	EQUIPO	CANTIDAD
1	Osciloscopio digital	1
2	Generador de funciones	1
3	Multímetro	1
4	Computadora – software Arduino	1

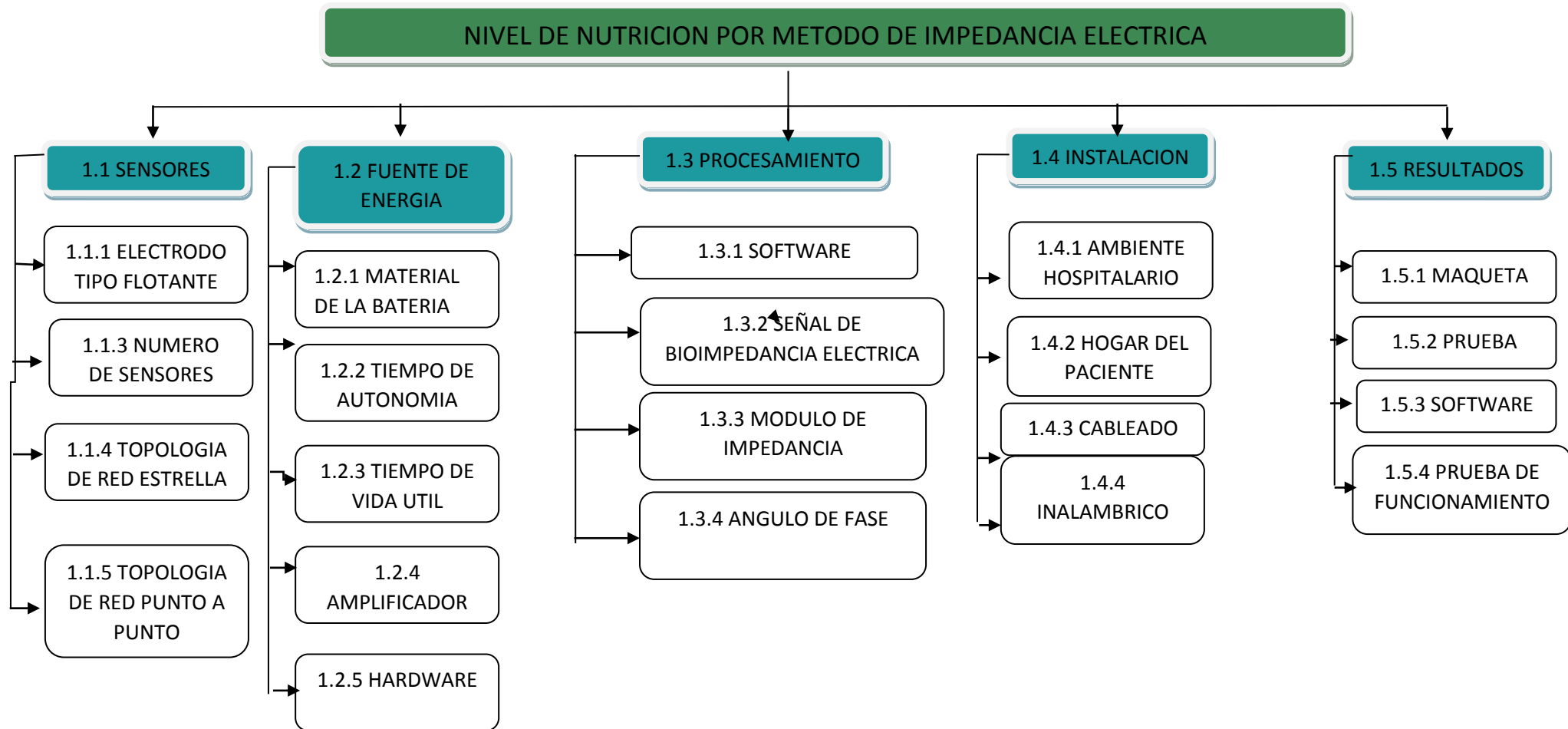
Fuente propia. Los equipos e instrumentos usados se ubican en el laboratorio de electrónica.

Tabla 3
Componentes para el estudio de bioimpedancia

N° DE ITEM	MATERIALES O DISPOSITIVOS	CANTIDAD
1	Electrodos adhesivos desechables del tipo flotante el cual disminuye el ruido debido al movimiento corporal	4
2	Arduino UNO	1
3	Pantalla LCD	1
4	Conectores	Varios
5	Batería de litio	1
6	Case del sistema	1
7	Modulo cargador de batería	1
	Modulo inalámbrico bluetooth	1

Fuente propia. Tabla con los componentes principales utilizados en el sistema de medición de impedancia eléctrica.

3.11 EDT (Fuente propia)



3.12 HOJA DE RUTA

Tabla 4
Hoja de ruta

SEMANA	ACTIVIDAD	DESCRIPCION
1	Determinar el tipo de sensor y el número de sensores en la red.	Se realiza búsqueda de información y se establece el sensor que cumple con los parámetros necesarios para la obtención de señales fisiológicas.
2	Evaluar las topologías de conexión de sensores, topología red estrella o punto a punto.	Se investiga sobre los temas en mención y ventajas de cada una de las topologías.
3	Seleccionar la fuente de energía externa e interna.	Establecer el tipo de energía que utilizara los equipos de monitoreo como también como se recarga las baterías.
4	Evaluación de Enfermedades crónicas renales	Se investiga sobre los temas en mención y estadísticas en Latinoamérica.
5	Se evalúa los tipos de procesamiento de sensores.	Se estudia ecuaciones y algoritmos con los cuales se determina estado de nutrición método equivalente a la medición de bioimpedancia
6	Evaluar los tipos de ubicación de los equipos de medición.	Se realiza la evaluación del equipo en un ambiente hospitalario y en el hogar del paciente
7	Tipo de transmisión de datos	Se estudia la forma de transmisión cableada e inalámbrica.
8	Se establecen términos clínicos y técnicos	Se desarrolla términos técnicos y tipo de tecnologías utilizados actualmente según el tema de investigación
9	Implementación de la maqueta	Realizar pruebas de funcionamiento de sensores con paciente
10	Desarrollo del software	Entrenamiento de la red de sensores y prueba de funcionamiento.
11	Revisión del equipo de monitoreo	Control de calidad con dispositivos de prueba.
12	Exposición del tema	Se realiza una breve exposición del trabajo avanzando hasta el momento
13	ENTREGA DE TRABAJO FINAL	Se realiza entrega del trabajo final

Fuente propia. Se describe las actividades a realizar en cada semana.

CAPITULO IV

4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

A continuación, se presenta una tabla de resultados obtenidos por medición de bioimpedancia y también se muestra los rangos de valores de medidas por antropometría.

Tabla 5
Tabla comparativa de antropometría y la bioimpedancia

ESTADO DE SALUD	MEDIDA POR ANTROPOMETRIA	MEDICION POR BIOIMPEDANCIA	
	IMC	IMPEDANCIA OHM	ANGULO DE FASE (GRADOS)
DESNUTRICION	MENOR A 18.5	150	1
		185	1.5
		220	2
		255	2.5
		290	3
BAJO DE PESO		325	3.1
		360	4
		395	4.5
		430	5
NORMAL	18.5-24.9	465	5.1
		500	5.5
		535	6
		570	6.5
		605	7
OBESIDAD	MAYOR A 25	640	7.1
		675	9
		710	11
		745	13
		780	15

Fuente propia resultados de medición de la bioimpedancia, AF: Es el ángulo de fase, además se puede apreciar las diferencias entre los tipos de medida de una persona con características saludables, lo cual nos indicaría que la suma de alimentos consumidos diariamente el porcentaje de proteínas, minerales, grasa y agua es la adecuada.

En el análisis por bioimpedancia se puede obtener más información ya que la variación de respuesta de la estimulación del tejido debido a la corriente eléctrica a diferentes frecuencias y esto permitirá diferenciar los tipos de componentes en el cuerpo humano.

4.2 DESNUTRICIÓN

Es determinado al presentar una baja impedancia y un AF menor a 3 grados, la cantidad de proteínas, minerales y agua no son absorbidos por los órganos, o la proporción de estos componentes no es la adecuada. Según la OMS la desnutrición es el desequilibrio celular entre los nutrientes y la demanda de energía para realizar el crecimiento, soporte, y actividades físicas. Por medidas antropométricas para un niño estar entre el 60 a 80% del peso ideal es una evidencia de desnutrición y por método de impedancia se determina en q zonas está el desequilibrio en mayor estado.

4.3 BENEFICIOS Y DESVENTAJAS DEL ANALISIS POR IMPEDANCIA ELECTRICA

Proporciona datos de la composición corporal proteínas, minerales, agua y grasa.

Se puede registrar los valores continuamente, con fácil manejo del usuario.

El método es no invasivo ya que no requiere ningún electrodo dentro del paciente solamente se coloca en la superficie de la piel con adhesivo

La importancia para detectar si existe alguna diferencia clínica con los valores estándar.

Desventaja.

No se puede usar en personas que tengan marcapaso u otro dispositivo eléctrico.

Requiere diferente configuración en niños

Complicaciones de medición si el paciente no puede mantenerse tranquilo por un tiempo determinada y ocasionar un error de lectura del medidor de impedancia.

4.4 RELACION DE IMPEDANCIA Y ANGULO DE FASE

Los resultados de obtener el valor o módulo de la bioimpedancia representada con la letra “Z” es un valor menor a 5k ohm a manera general según todas las categorías de paciente adulto y niño.

Los 2 componentes de la impedancia forman el ángulo de fase la unidad de medida será el grado sexagesimal según (Lopez, 2011): “El ángulo que forman la R y la Xc se denomina ángulo de fase (G), que normalmente es inferior a 10°, ya que la R es muy superior a la Xc. En resumen, mientras que la R determina preferentemente el estado de hidratación, la Xc determina preferentemente el estado nutricional.” Por lo tanto, se interpreta que una persona tiene el valor del ángulo de fase menor a 10° sexagesimales, pero si puede exceder este valor.

Asimismo, se propone asignar intervalos con información más detallada para estos valores de ángulo de fase y su respectivo estado de nutrición para una mejor interpretación de resultados de medida.

Tabla 6
Los valores de ángulo de fase que corresponde a los niveles de estado nutrición

NIVEL	ANGULO DE FASE AF (GRADOS SEXAGECIMALES)	ESTADO DE NUTRICION
1	1° - 3°	Desnutrición - anorexia
2	3° - 5°	Bajo de peso
3	5° - 7°	Normal – (Saludable)
4	7° - 9°	Obesidad
5	Mayor a 9°	Sobre - obesidad

Fuente propia. Se muestra en niveles los valores que corresponde a 4 niveles de estado nutrición, el valor medio de AF en personas sanas varones es de 6,7° y en mujeres es menor 6,5°.

4.4.1 LOS RIESGOS ASOCIADOS AL VALOR DE ÁNGULO DE FASE

Para los pacientes con enfermedades crónicas renales el ángulo de fase cercano a 8° presenta mejor estado nutricional. El valor de índice de masa corporal va en relación en pacientes con hemodiálisis.

No se han realizado muchos estudios de la medición de bioimpedancia en niños y desarrollados sistemas de medición de ángulo de fase, a pesar de que se ha

comprobado que es una técnica muy precisa para establecer el nivel de nutrición en los jóvenes y adultos. Teniendo en cuenta que en el país existe gran cantidad de niños con desnutrición esto nos permitiría tener un mayor control de las enfermedades.

Una vez realizada la medición de bioimpedancia, con este valor podemos calcular directamente el ángulo de fase, la cual es un indicador muy exacto del estado de salud y por ello va a determinar el estado de salud y supervivencia.

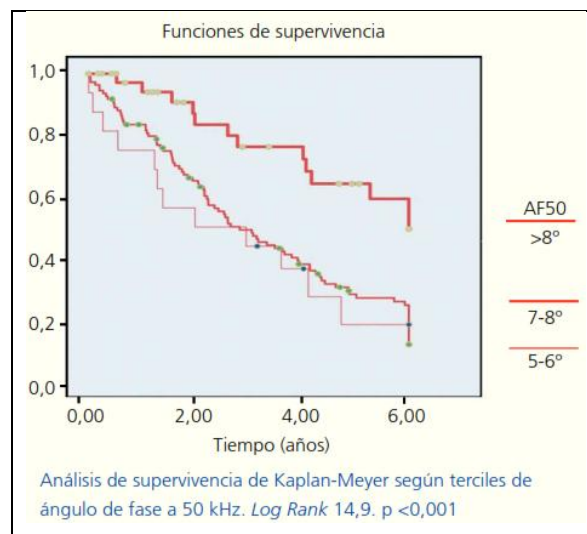


FIGURA 12. Figura de ángulo de fase. (Abad, 2011, p. 603)

Se observa los resultados de medición y obtención del ángulo de fase para pacientes con enfermedades crónicas renales, el ángulo de fase menor a 5° - 6° tiene un menor tiempo de supervivencia que un paciente mayor ángulo de fase 7° , 8° , la importancia del análisis del ángulo de fase es que a mayor ángulo de fase el tiempo de supervivencia es mayor.

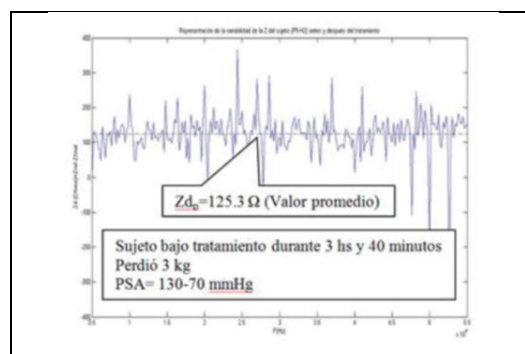


FIGURA 13. Resultados de la variabilidad de la impedancia corporal diferencial en sujetos con insuficiencia renal. (Calle, 2014, p. 21).

La figura muestra la variación de los cambios de impedancia. Se observa la señal de impedancia para pacientes con enfermedades renales el cual el valor promedio de impedancia es de 125.3 ohm. Dentro de los resultados de la medición por impedancia eléctrica podemos obtener los siguientes parámetros vitales como la frecuencia respiratoria, estado de hidratación y el ritmo cardiaco la mejora de este trabajo consistirá en usar los electrodos convencionales o denominado biosensores por el tamaño pequeño el cual no genera molestias y la información captada lo llevara a un sistema de un microcontrolador con una memoria interna y también contara con un módulo transmisor inalámbrico y un sistema de batería para la monitorización continua. Los análisis por bioimpedancia demuestran gran validez al medir a los deportistas, los cuales requiere controlar el nivel de hidratación. (Rotario, 2015)

Los experimentos realizados han demostrado que la impedancia puede realizar más mediciones como medir la variación del flujo de sangre en los vasos sanguíneos y medir el cambio de volumen de aire en los pulmones cuando se realiza el proceso de respiración hay un cambio de valor de resistencia y puede ser medido.

4.5 LOS RESULTADOS DE LA BIOIMPEDANCIA APLICADOS EN PACIENTES CRÓNICOS RENALES

El experimento entre pacientes sanos y con problemas renales determino el peso que es necesario perder un promedio de 3.5kg cuando se realizan el proceso de hemodiálisis para estabilizar su calidad de vida y en la tabla se aprecian los índices de pesos antes y después de la hemodiálisis

4.5.1 MEDICION DE BIOIMPEDANCIA CON 4 ELECTRODOS



FIGURA 14. Imágenes cedidas por el Grupo EPINUT UCM ref. 920325. A: Analizador BIA tetrapolar, BodyStat® 1500 y B: Colocación de los electrodos. (Rodríguez, 2017, p. 73)

En la imagen se aprecia la configuración para la medición de bioimpedancia y como se coloca en el cuerpo humano, se utilizaron electrodos tipo flotante desechables.

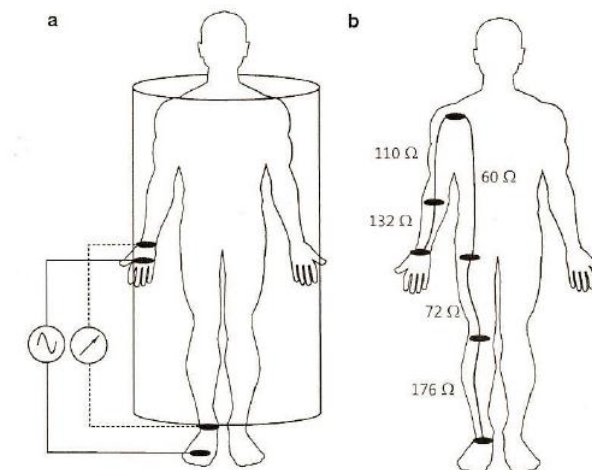


FIGURA 15. (a) Medida de la BIA modelando el cuerpo humano como un solo cilindro. (b) Distribución de la resistencia por los segmentos del cuerpo. (Rodríguez, 2017, p. 71)

El autor presenta esas 2 graficas las cuales en (a) muestra el modelamiento para la medición de la bioimpedancia y como el cuerpo humano puede representarse como un cilindro con propiedades físicas homogéneas en todas las direcciones. En (b) representa los valores de impedancia en cada tramo del cuerpo y la unidad de medida es el ohm y la suma total de la impedancia corporal es de (550 ohm aproximadamente).

4.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RED DE SENSORES PARA OBTENER EL ÁNGULO DE LA IMPEDANCIA ELÉCTRICA PARA DETECTAR ESTADO DE SALUD EN PACIENTES CON DIALISIS”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS																		
<p>¿Cómo determinar el estado de salud (nutrición- desnutrición) de pacientes con enfermedades crónicas renales, a través de un sistema de red de sensores que obtenga el módulo de impedancia bioeléctrica y ángulo de fase?</p> <p>¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo y obtención de ángulo de impedancia con una red de sensores inalámbrico?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Obtener y analizar el valor del ángulo de impedancia bioeléctrica para determinar el nivel de nutrición y pronóstico. ➤ Promover el uso de un sistema de monitoreo de estado de salud por el método de la bioimpedancia eléctrica usando una red de sensores. ➤ Analizar la variabilidad de impedancia indicador de estabilidad en la pérdida de peso cuando se realice el procedimiento de diálisis. 	<p>Existe una relación muy exacta y precisa entre el ángulo de fase de la bioimpedancia y el estado de salud.</p>																		
VARIABLES	INDICADORES	TECNICAS																		
<p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nivel de nutrición de pacientes con enfermedades crónicas renales. 	<p>➤ Los valores que tiene el ángulo de fase luego de la medición:</p> <table border="1" data-bbox="851 933 1646 1268"> <thead> <tr> <th>NIVEL</th> <th>ÁNGULO DE FASE AF (GRADOS SEXAGECIMALES)</th> <th>ESTADO DE NUTRICION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1° - 3°</td> <td>Desnutrición - anorexia</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3° - 5°</td> <td>Bajo de peso</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5° - 7°</td> <td>Normal – (Saludable)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>7° - 9°</td> <td>Obesidad</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Mayor a 9°</td> <td>Sobre - obesidad</td> </tr> </tbody> </table>	NIVEL	ÁNGULO DE FASE AF (GRADOS SEXAGECIMALES)	ESTADO DE NUTRICION	1	1° - 3°	Desnutrición - anorexia	2	3° - 5°	Bajo de peso	3	5° - 7°	Normal – (Saludable)	4	7° - 9°	Obesidad	5	Mayor a 9°	Sobre - obesidad	<p>Documentos de información</p> <p>Análisis de bioimpedancia = análisis de la Resistencia y Reactancia en el cuerpo humano</p>
NIVEL	ÁNGULO DE FASE AF (GRADOS SEXAGECIMALES)	ESTADO DE NUTRICION																		
1	1° - 3°	Desnutrición - anorexia																		
2	3° - 5°	Bajo de peso																		
3	5° - 7°	Normal – (Saludable)																		
4	7° - 9°	Obesidad																		
5	Mayor a 9°	Sobre - obesidad																		
<p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Módulo de bioimpedancia Z ✓ Ángulo de fase 	<p>➤ Valor de Bioimpedancia relaciona el nivel de hidratación: alto, medio y bajo</p>																			

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El problema identificado en las personas es que no mantienen un control continuo de su estado de salud, la única medida de control es la medida de peso el cual no tiene mucha información clínica ya que no permite saber la composición de ese peso el cual se constituye de la masa grasa, líquidos, proteínas y minerales.
- Es importante realizar un control de índice de masa corporal en pacientes con enfermedades crónicas, cirrosis, cáncer de mama, VIH-positivo y operados.
- La bioimpedancia nos permitirá monitorizar los efectos de las enfermedades, la cantidad de dieta si es adecuada o también si los ejercicios físicos realizados van mejorando la condición corporal del organismo.
- El sistema de medición bioimpedancia propuesto tiene que mostrar un diagnóstico general del estado de salud de la persona a través del indicador de ángulo de fase el cual está relacionado al nivel de nutrición por ello se creó una tabla con 5 estados, que va desde el nivel 1 en el cual una persona tiene un ángulo de fase menor a 3° presenta un nivel de desnutrición alto.
- Se logra comprobar que del valor de bioimpedancia eléctrica se obtiene el ángulo de fase, el valor promedio para individuos saludables en hombres es de 6.7° y en mujeres es de 6.5° grados, este valor varía conforme la edad y el estado de salud haciendo disminuir el valor.
- Es importante que se realice una correcta integración de los módulos de WSN para que en un futuro cuando se realice la adquisición de 1 o más variables de múltiples sensores y de diferentes tipos de pacientes, no exista ninguna interferencia ni ruido que pueda intervenir en el procesamiento de señal y como consecuencia estudios y análisis errados. Hoy la tecnología nos permite ver y controlar objetos de manera remota esto también es aplicado al cuidado de ciertos pacientes, la mayoría con enfermedades crónicas, que luego de salir del centro de salud requiera ser monitorizado continuamente y enviar una señal de alarma para poder asistirlo de manera oportuna.
- Los estudios revelan que una persona que está en estado de desnutrición tiene riesgo de tener una enfermedad crónica cuando sea adulto, es por ello por lo que el trabajo muestra la importancia de un control, tratamiento y prevención con el fin de disminuir los riesgos de tener enfermedades.

REFERENCIAS

Guevara Rosas, J.A. (2016). Arquitectura de nodo inteligente para redes de sensores inalámbricas y escalables: aplicaciones en monitorización ambiental.

J.M. López-Gómez, Revista Nefrología (2011) Evolución y aplicaciones de la bioimpedancia en el manejo de la enfermedad renal crónica

Bellido, Virginia (2014). Relación del ángulo de fase determinado por bio impedanciometría con factores de riesgo cardiovascular, adipocitoquinas, antropometría e ingesta dietética de pacientes obesos.

Sánchez-Iglesias, A., Fernández-Lucas, M., & Teruel, J. L. (2012). Fundamentos eléctricos de la bioimpedancia. Nefrología (Madrid), 32(2), 133-135.

Rotariu, C., Bozomitu, R. G., Cehan, V., Pasarica, A., & Costin, H. (2015, May). A wireless sensor network for remote monitoring of bioimpedance. In 2015 38th international spring seminar on electronics technology (ISSE) (pp. 487-490). IEEE.

Rossi, S., Mancarella, C., Mocenni, C., & Della Torre, L. (2017, September). Bioimpedance sensing in wearable systems: From hardware integration to model development. In 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI) (pp. 1-6). IEEE.

Kusche, R., Klimach, P., & Ryschka, M. (2018). A Multichannel Real-Time Bioimpedance Measurement Device for Pulse Wave Analysis. IEEE transactions on biomedical circuits and systems, 12(3), 614-622.

A. Calle-Herranz, R. Carvajal-Alfonso, C. Busoch-Morlán, A. Regueiro-Gómez (2014) Medición de la variabilidad de la impedancia eléctrica corporal en sujetos con padecimientos renales crónicos

Rose Lombroso, Nassima Naas, Lenore K. Beitel, Marcus F. Lawrence and Mark A. Trifiro, Lady Davis (2007). Novel Bioimpedance Sensor for Glucose Recognition

Abad, S., Sotomayor, G., Vega, A., Pérez de José, A., Verdalles, U., Jofré, R., & López-Gómez, J. M. (2011). El ángulo de fase de la impedancia eléctrica es un predictor de supervivencia a largo plazo en pacientes en diálisis. Nefrología (Madrid), 31(6), 670-676.

Aparicio, F., & Molano, U. (2013). Wireless Sensor Networks Applied to Optimization in Precision Agriculture for Coffee Crops in Colombia *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 46–52. Retrieved from ISSN 2145-2628.

Rodríguez Camacho, P. M. (2017). Valores de referencia de composición corporal para población española adulta, obtenidos mediante antropometría, impedancia eléctrica (BIA) tetrapolar e interactancia de infrarrojos (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

ANEXOS

ANEXO 4
FICHA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD: Ingeniería
CARRERA: Ingeniería Biomédica

1. Título del Trabajo de Investigación propuesto
Diseño de una plataforma de red de sensores para aplicaciones de seguridad ocupacional.
2. Indica la o las competencias del modelo del egresado que serán desarrolladas fundamentalmente con este Trabajo de Investigación:
Sistemas eléctricos, electrónicos y procesamiento digital de señales.
3. Número de alumnos a participar en este trabajo. (máximo 2) Número de alumnos: 2
4. Indica si el trabajo tiene perspectivas de continuidad, después de obtenerse el Grado Académico de Bachiller, para seguirlo desarrollando para la titulación por la modalidad de Tesis o no.
No.
5. Enuncia 4 o 5 palabras claves que le permitan realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc., desde el comienzo del curso y obtener así información de otras fuentes especializadas. Ejemplo:

Palabras Claves	Scholar	DOAJ	OpenDoar
1.- red de sensores	Exitoso	Exitoso	Exitoso
2.- sensores biomédicos	Exitoso	Resultado menor	Exitoso
3.- redes inalámbricas de sensores	Exitoso	Exitoso	Exitoso
4.-			
5.-			

6. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:
(Indique sus datos personales)
 - a. Nombre: _____
 - b. Código docente: _____
 - c. Correo institucional: _____
 - d. Teléfono: _____

7. Especifica si el Trabajo de Investigación:

(Marca con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP.
 - b. Está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización.
 - c. Forma parte de un contrato de servicio a terceros.
 - d. Corresponde a otro tipo de necesidad o causa (explicar el detalle):
-
-

8. Explica de forma clara y comprensible los objetivos o propósitos del trabajo de investigación

El trabajo tiene como propósito diseñar un sistema que, empleando redes de sensores de inalámbricos, permita adquirir señales fisiológicas y ambientales que serán utilizadas para el monitoreo del estado de salud de los trabajadores que se desempeñan en actividades asociadas a riesgos para la salud. El estudio propone un enfoque en la actividad minera, por lo que debe considerar los procesos y los riesgos laborales asociados a la misma. El tema está vinculado al estudio de los sistemas de automatización asistidos por dispositivos de detección biomédicos para la seguridad y salud en el trabajo. Para el desarrollo del trabajo se deberán analizar las características de las señales a detectar, así como los dispositivos adecuados para la adquisición de las mismas y para el envío de la información que permitirá la monitorización de la forma física de las personas que laboran en el rubro.

9. Brinde una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar el alumno para que le permita iniciar organizadamente su trabajo

Buscar información sobre los riesgos laborales asociados a la actividad minera.

Buscar información sobre las principales variables fisiológicas y del entorno a evaluar para el monitoreo de la forma física de las personas que laboran en el rubro.

Buscar información acerca de los sensores, nodos, pasarelas y demás dispositivos necesarios para establecer el sistema de red de sensores para aplicaciones de seguridad ocupacional.

10. Incorpora todas las observaciones y recomendaciones que consideres de utilidad para el alumno y a los profesores del curso con el fin de que desarrollen con éxito todas las actividades

Tener identificados los riesgos laborales asociados a la actividad minera.

Seleccionar los sensores a utilizar, considerando las variables fisiológicas y del entorno a supervisar.

Considerar en el diseño del sistema la adquisición de datos en tiempo real y el almacenamiento de los mismos para una evaluación de los registros históricos.

Considerar durante el diseño los elementos necesarios para la monitorización:

Adquisición de señales, análisis de la información, visualización, estabilidad y escalabilidad del sistema, relación coste/prestaciones.

11. Fecha y docente que propone la tarea de investigación

Fecha de elaboración de ficha (día/mes/año): 18/ 1/ 2019

Docente que propone la tarea de investigación: Osniel Pozo Mederos

12. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada como Tarea de Investigación para el Grado de Bachiller en esta carrera por:

(Sólo para ser llenada por la Facultad)


Nombre: _____

Código: _____

Cargo: _____

Fecha de aprobación de ficha (día/mes/año): ____/____/____

CRONOGRAMA DE TRABAJO

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ		ANALISIS DEL SISTEMA DE RED DE SENSORES PARA OBTENER IMPEDANCIA Y EL ANGULO DE FASE DE LA IMPEDANCIA ELECTRICA PARA DETECTAR ESTADO DE SALUD (NIVEL DE NUTRICION) EN PACIENTES CON ENFERMEDADES CRONICAS RENALES														INFO N°1 -00001		
																FECHA: 13/08/2019		
		REV: ELAB: G.A. Rev.																
Semanas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Items	Temario																	
1	Tema del Proyecto	x																
2	Redefinir el proyecto, Cronograma	x	x															
3	Revisión de Introducción, Objetivos Generales, Objetivos Específicos, Cronograma de actividades (información similar al proyecto)		x	x														
4	ENTREGABLE				x													
5	Diagrama de flujo e implementación del programa				x													
6	topologías de red				x													
7	electrodo					x												
8	Simulación de los dos circuitos unidos					x												
9	Unir todos los circuitos y realizar las simulaciones					x	x											
10	Diseño de software						x											
11	pruebas de funcionamiento de software y sensores						x	x										
12	pruebas de medición comparativa							x	x									
13	Pruebas con el paciente								x	x								
14	Implementación del sistema de envío de datos via inalámbrica									x	x							
15	Solución de problemas en el hardware de todo el sistema									x	x	x						
16	Pruebas Finales del Software + Hardware.												x	x				
17	Exposición Final del trabajo														x			
18	Presentación del Proyecto Final															x	x	x

COSTOS

COMPONENTES PARA EL ESTUDIO DE BIOIMPEDANCIA

N° DE ITEM	MATERIALES O DISPOSITIVOS	CANTIDAD	PRECIO
1	Electrodos adhesivos desechables del tipo flotante el cual disminuye el ruido debido al movimiento corporal	4	200
2	Arduino UNO	1	150
3	Pantalla LCD	1	500
4	Conectores	Varios	100
5	Batería de litio	1	400
6	Case del sistema	1	200
7	Modulo cargador de batería	1	600
8	Modulo inalámbrico bluetooth	1	300
		TOTAL	2450

CODIGO DEL PROGRAMA DEL SISTEMA DE BIOIMPEDANCIA

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
//////////////////////////////////////
int value = 0; //SALIDA ENTERO           //
float value2 = 0; //SALIDA REAL         //
//////////////////////////////////////

int potnPin = A0; //ENTRADA REAL
int potnPin2 = A1; //ENTRADA REAL

int color=0;

// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

void setup()
{
    // initialize the LCD
    lcd.begin();

    // Turn on the backlight and print a
    message.
    lcd.backlight();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SISTEMA ");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("DE BIOIMPEDANCIA ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("UTP");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("INICIALIZANDO ...");
    delay(5000);
}
```

```

void loop()
{
  value = 0.635*analogRead(potnPin)+150;
  value2 = 0.0136*analogRead(potnPin2)+1;

  //ESCRITURA EN LA PRIMERA LINEA
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("PACIENTE   ");
  // ESCRITURA EN LA SEGUNDA LINEA
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("IMPEDANCIA: ");
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(value);
  lcd.print(" ohms");

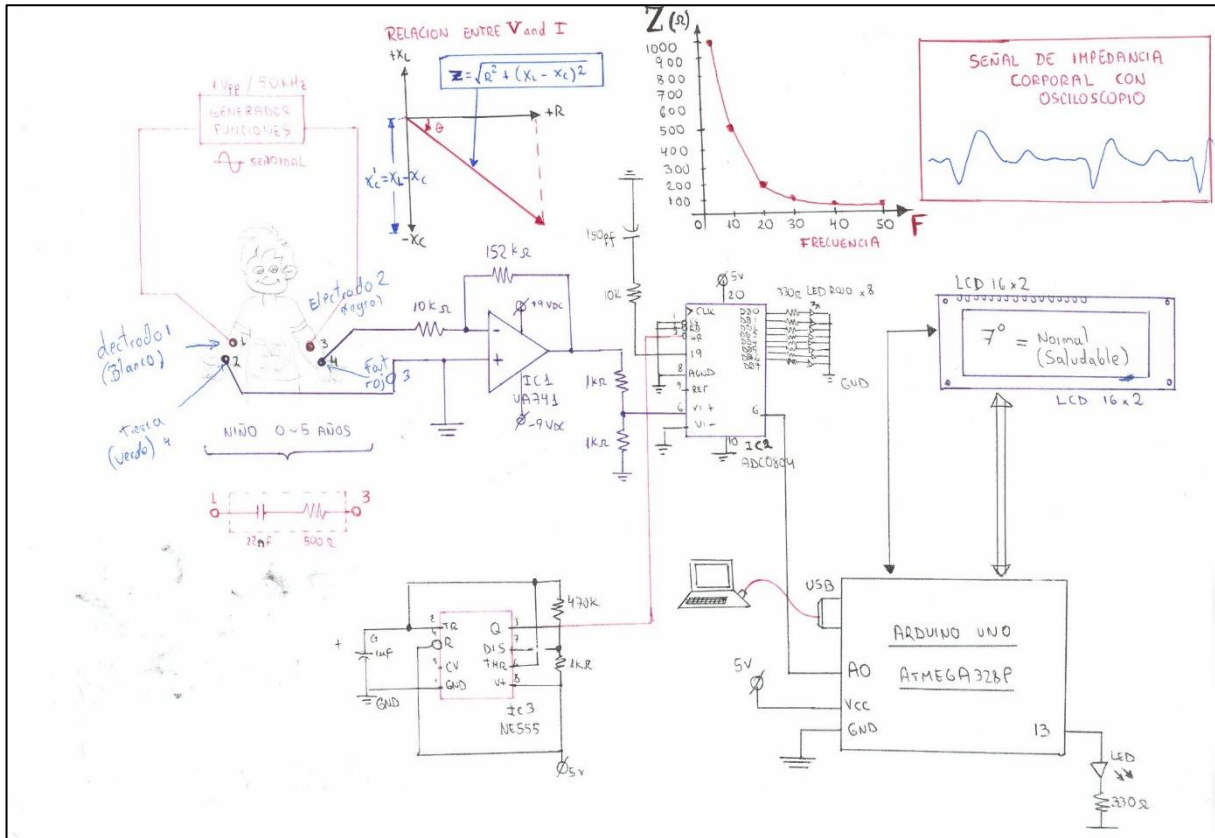
  //SELECTOR
  if (value>650)
  { _color=4;}
  else
  { if(value>450)
    {
      color=3;
    }
    else
    { if(value>300)
      {color=2;}
      else
      {color=1;}
    }
  }

  //ESCRITURA EN LA TERCERA LINEA
  lcd.setCursor(0, 2);
  switch(color){// eestas lineas en un selector

  |
  case 1:lcd.print("DESNUTRIDO   ");break;
  case 2:lcd.print("BAJO DE PESO   "); break;
  case 3:lcd.print("NORMAL SALUDABLE "); break;
  case 4:lcd.print("OBSESIDAD   "); break;
  default:lcd.print("SIN DATA   "); break;
  delay(100);
  }
  delay(100);
}

```

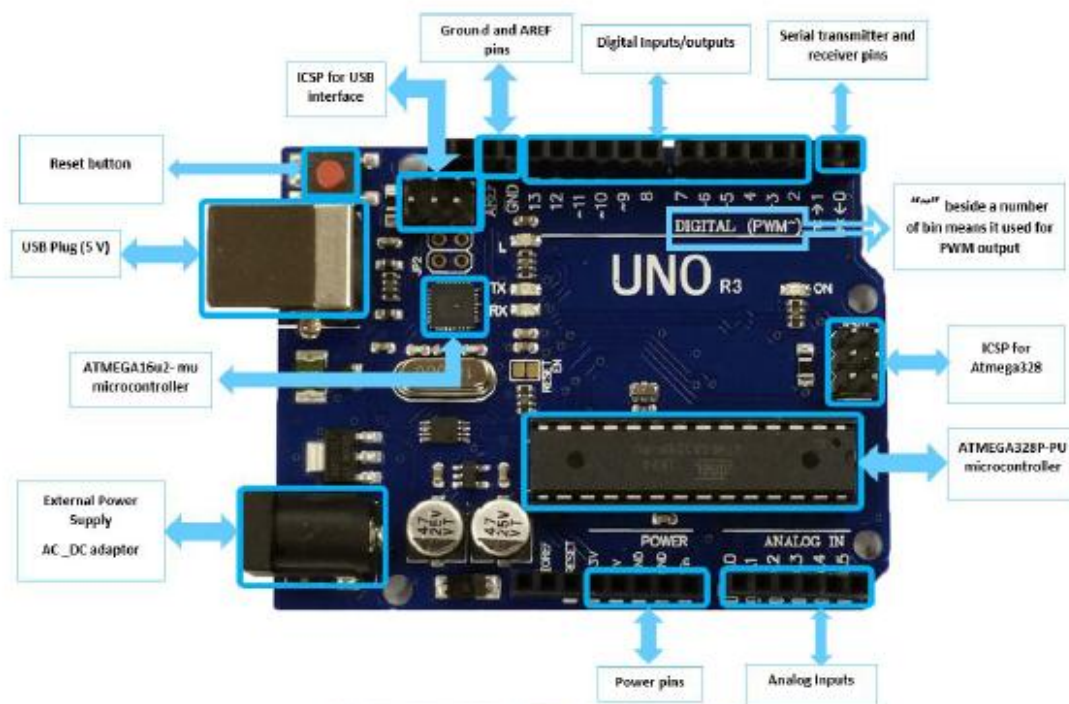
DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE BIOIMPEDANCIA PROPUESTO



DATASHEET



Arduino Uno R3



INTRODUCTION

Arduino is used for building different types of electronic circuits easily using of both a physical programmable circuit board usually microcontroller and piece of code running on computer with USB connection between the computer and Arduino.

Programming language used in Arduino is just a simplified version of C++ that can easily replace thousands of wires with words.

ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS

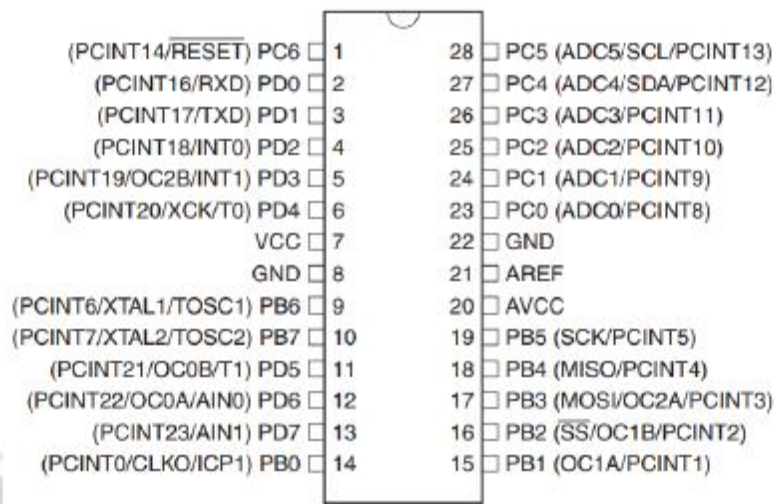
ATMEGA328P-PU microcontroller

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
 - Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
 - High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
 - Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
- 

- Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I2 C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
-
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
-
- **I/O and Packages**
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
-
- **Operating Voltage:**
 - 1.8 - 5.5V
-
- **Temperature Range:**
 - -40°C to 85°C
-
- **Speed Grade:**
 - 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
-
- **Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C**
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 μ A
 - Power-save Mode: 0.75 μ A (Including 32 kHz RTC)
- 

- Pin configuration



ATMEGA16u2- mu microcontroller

Is a 8-bit microcontroller used as USB driver in Arduino uno R3 it's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 125 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 8K/16K/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 512/512/1024 EEPROM
 - 512/512/1024 Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C

- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by on-chip Boot Program hardware-activated after reset
- Programming Lock for Software Security
- **USB 2.0 Full-speed Device Module with Interrupt on Transfer Completion**
 - Complies fully with Universal Serial Bus Specification REV 2.0
 - 48 MHz PLL for Full-speed Bus Operation: data transfer rates at 12 Mbit/s
 - Fully independent 176 bytes USB DPRAM for endpoint memory allocation
 - Endpoint 0 for Control Transfers: from 8 up to 64-bytes
 - 4 Programmable Endpoints:
 - IN or Out Directions
 - Bulk, Interrupt and Isochronous Transfers
 - Programmable maximum packet size from 8 to 64 bytes
 - Programmable single or double buffer
 - Suspend/Resume Interrupts
 - Microcontroller reset on USB Bus Reset without detach
 - USB Bus Disconnection on Microcontroller Request
- **Peripheral Features**
 - One 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode (two 8-bit PWM channels)
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Mode(three 8-bit PWM channels)
 - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **On Chip Debug Interface (debug WIRE)**
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-On Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 22 Programmable I/O Lines
 - QFN32 (5x5mm) / TQFP32 packages

- Operating Voltages

- o 2.7 - 5.5V

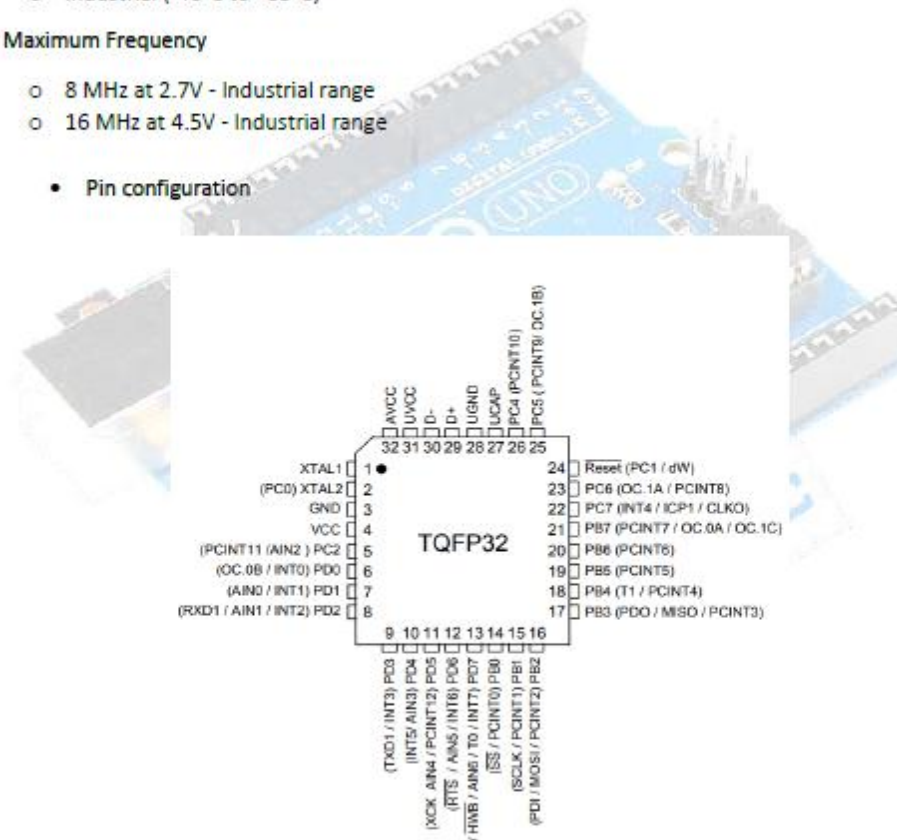
- Operating temperature

- o Industrial (-40°C to +85°C)

- Maximum Frequency

- o 8 MHz at 2.7V - Industrial range
- o 16 MHz at 4.5V - Industrial range

- Pin configuration



OTHER ARDUINO UNO R3 PARTS

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 k Ohms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- External Interrupts: 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the SPI library.
- LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support TWI communication using the Wire library.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF: Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- Reset: Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

ARDUINO UNO R3 SCHEMATIC DIAGRAM

