



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones”

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Título del proyecto

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN  
POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL  
MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA  
RED DE SENSORES INALÁMBRICOS”

Autor:

Jorge Vinicio Guevara Chariguamán

Director:

Ing. Giovanni Cuzco

Riobamba – Ecuador  
AÑO 2018

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS" presentado por: Jorge Vinicio Guevara Chariguamán y dirigida por: Ing. Giovanni Cuzco.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

**Ing. Juan Carlos Cepeda**  
**Miembro del Tribunal**  
**Firma**



**Ing. José Jínez**  
**Miembro del Tribunal**  
**Firma**



**Ing. Giovanni Cuzco**  
**Miembro del Tribunal**  
**Firma**



## CERTIFICADO DEL TUTOR.

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de Ingeniero en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES. Con el tema "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVEZ DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS" ha sido elaborado por el estudiante Jorge Guevara, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva

Es cuanto lo que puedo informar en honor de la verdad.



.....  
Ing. Giovanni Cuzco

## AUTORIA DE INVESTIGACIÓN.

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a Jorge Guevara e Ingeniero Giovanni Cuzco, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

  
.....  
Jorge Vinicio Guevara Chariguamán  
C.I. 060435132-0

## AGRADECIMIENTO

*Este trabajo es la muestra de la culminación de mi carrera estudiantil y dar el paso al mundo de los profesionales de éxito.*

*Agradezco a Dios por haberme dado la fuerza y la constancia para seguir adelante en esta difícil carrera.*

*Agradezco a mis padres y mi familia por haberme apoyado y haberme exigido a seguir superándome en la vida, ya que éste esfuerzo será para mi propio beneficio.*

*Agradezco a mis amigos ya que de una u otra manera me han ayudado a poder culminar mis estudios universitarios.*

Jorge Guevara

## **DEDICATORIA**

*A mis padres y hermanas, quienes han sido el pilar fundamental y la inspiración para poder seguir adelante y poder superarme en la vida.*

*Jorge Guevara*

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPITULO I.....	1
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1. Antecedentes. ....	1
1.2. Sistema de localización.....	2
1.3. Sistemas de Localización en Exteriores (Outdoor) .....	3
1.3.1. GPS.....	3
1.3.2. RFID.....	4
1.3.3. UWB (Ultra Wave Band).....	5
1.3.4. Radar .....	7
1.3.5. ZIGBEE .....	7
1.4. Sistemas de Localización en Interiores (Indoor) .....	8
1.4.1. Infrarrojos .....	8
1.4.2. Ultrasónicos .....	9
1.4.3. RFID.....	9
1.4.4. Wi-Fi.....	10
1.4.5. Bluetooth .....	10
1.5. Posicionamiento .....	11
1.5.1. Posicionamiento basado en redes de comunicaciones.....	11
1.5.2. Posicionamiento en redes móviles.....	12
1.5.3. Posicionamiento en redes locales inalámbricas .....	13
1.5.4. Posicionamiento en redes Ad-Hoc .....	13
1.5.5. Movilidad. ....	14
1.5.6. Nodos autónomos y sin infraestructura .....	14
1.5.7. Encaminamiento “multihop” (múltiples saltos):.....	14
1.5.8. Ancho de banda limitado.....	14
1.5.9. Consumo de energía.....	14
1.5.10. Modelo empírico .....	14
1.6. Técnicas de localización .....	15
1.6.1. Triangulación.....	15

1.6.2.	Técnicas basada en RSS .....	16
1.6.3.	Técnica TOA.....	16
1.6.4.	Técnica TDOA.....	17
1.6.5.	Técnica RTOF .....	18
1.6.6.	Técnica AOA.....	19
1.6.7.	Vector de potencia.....	20
1.6.8.	Multilateración.....	20
1.7.	Redes de Sensores Inalámbricos (WSN).....	21
1.7.1.	Topología de Red WSN.....	22
1.7.2.	Radino Spider .....	22
1.7.3.	Radino Leonardo .....	23
1.7.4.	DW1000.....	24
1.7.5.	Antena .....	25
	Es una antena planar de banda ultra ancha omnidireccional con un conector para integrar a los dispositivos, muestra la Figura 22.....	25
	Características.....	25
1.7.6.	Transceptor SHT-SV651-TTL-232.....	26
1.7.7.	Convertidor USB 232.....	26
1.7.8.	Arduino Nano .....	27
1.7.9.	Giroscopio MPU6050 .....	27
<b>CAPITULO II.....</b>		<b>29</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
2.1.	Tipo de estudio.....	29
2.2.	Métodos, Técnicas e Instrumentos.....	29
2.2.1.	Métodos .....	29
2.2.1.1.	Análítico/Deductivo .....	29
2.2.2.	Técnicas.....	29
2.2.2.1.	Observación.....	29
2.2.3.	Instrumentos .....	29
2.3.	Población .....	30
2.4.	Muestra.....	30
2.5.	Hipótesis .....	30
2.6.	Operacionalización de variables .....	30
2.7.	Procedimientos.....	32
2.8.	Procesamiento y análisis .....	37
2.8.1.	Falta de supervisión y localización de los adultos mayores.....	37

2.8.2.	Selección de componentes electrónicos para el desarrollo del sistema.	37
2.8.3.	Selección de dispositivos electrónicos para la implementación del proyecto.....	38
2.8.4.	Desarrollo software de medición de distancias en los módulos.	38
2.8.5.	Implementación de un dispositivo para la comunicación inalámbrica entre el tag y la PC para el envío de datos. ....	45
2.8.6.	Software en MatLab para visualizar la posición de la persona adulta.	45
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>49</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
3.1.	Prueba funcionamiento de los módulos para conocer la distancia entre ellos. ....	49
3.2.	Prueba del envío de datos de distancias de los módulos fijos hacia el módulo móvil .....	49
3.3.	Resultado de la prueba del sistema de localización de personas adultas mayores.....	55
3.4.	Comprobación de hipótesis.....	59
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>63</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>64</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
5.1.	Conclusiones.....	64
5.2.	Recomendaciones.....	64
<b>CAPITULO VI .....</b>		<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>PROPUESTA.....</b>	<b>66</b>
6.1.	Título de la propuesta .....	66
6.2.	Introducción.....	66
6.3.	Objetivos.....	67
6.3.1.	Objetivo General .....	67
6.3.2.	Objetivos Específicos .....	67
6.4.	Fundamentación Científico –Técnica .....	67
6.5.	Descripción de la propuesta.....	67
6.6.	Diseño Organizacional. ....	68
6.7.	Monitoreo y Evaluación de la propuesta.....	68
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>69</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de posicionamiento global .....	4
Figura 2. Funcionamiento del sistema RFID .....	5
Figura 3. Funcionamiento de sistemas UWB.....	6
Figura 4. Funcionamiento de un RADAR.....	7
Figura 5. Sistema ZigBee .....	8
Figura 6. Sistema Infrarrojo .....	9
Figura 7. Sistema Ultrasónico .....	9
Figura 8. Sistema RFID.....	10
Figura 9. Sistema Wi-Fi .....	10
Figura 10. Sistema Bluetooth.....	11
Figura 11. Triangulación de señales.....	16
Figura 12. Técnica TOA .....	17
Figura 13. Técnica TDOA.....	18
Figura 14. Técnica AOA .....	19
Figura 15. Vector de Potencia.....	20
Figura 16. Técnica de multilateración.....	21
Figura 17. Red de sensores inalámbricos .....	21
Figura 18. Topología WSN .....	22
Figura 19. Radino Spider .....	23
Figura 20. Radino Leonardo .....	24
Figura 21. Sensor DW1000.....	25
Figura 22. Antena Microstrip.....	25
Figura 23. Transceptor SV651 .....	26
Figura 24. Convertidor R232 .....	27
Figura 25. Arduino Nano .....	27
Figura 26. Giroscopio.....	28
Figura 27. Software de Programación.....	32
Figura 28. Página web.....	33
Figura 29. Librerías Radino .....	34
Figura 30. Software para el reconocimiento de componentes Radino.....	34
Figura 31. Conexión del Radino a la PC.....	35
Figura 32. Puerto creado por el Radino Spider .....	35
Figura 33. Diagrama de funcionamiento.....	36
Figura 34. Organigrama para el proyecto. ....	37
Figura.35. Diagrama de flujo para la programación del Anchor. ....	39
Figura 36. Programación del algoritmo del Anchor.....	40
Figura 37. Diagrama de flujo para la programación del Tag .....	41
Figura 38. Diagrama de flujo de la programación del Tag. ....	42
Figura 39. Ubicación de módulos. ....	46
Figura 40. Ecuación de las circunferencias.....	47
Figura 41. Zonas de cobertura de las antenas. ....	47
Figura 42. Sensor A con el sensor móvil. ....	49
Figura 43. Lectura de datos en Arduino.....	50
Figura 44. Visualización de datos a través de mikroC.....	50
Figura 45. Funcionamiento del sensor B con el móvil.....	51

Figura 46. Visualización de datos por Arduino .....	51
Figura 47. Visualización de datos a través de mikroC.....	52
Figura 48. Funcionamiento del sensor C con el móvil.....	52
Figura 49. Visualización de datos a través de Arduino.....	53
Figura 50. Funcionamiento de los 3 sensores fijos con el sensor móvil.....	53
Figura 51. Datos visualizados a través de Arduino.....	54
Figura 52. Visualización de datos a través de mikroC.....	54
Figura 53. Prueba con el sensor móvil en la parte superior. ....	55
Figura 54. Prueba con el sensor móvil en la parte superior izquierda. ....	55
Figura 55. Prueba con el sensor móvil en la parte superior derecha.....	56
Figura 56. Prueba con el sensor móvil en la parte inferior izquierda .....	56
Figura 57. Prueba con el sensor móvil en la parte inferior derecha en la parte donde no existe un sensor fijo.....	57
Figura 58. Prueba en estado normal del adulto mayor.....	57
Figura 59. Estado de caída del adulto mayor. ....	58
Figura 60. Alerta de ayuda. ....	58
Figura 61. Trayectoria fijada.....	59
Figura 62. Trayectoria generada por el prototipo: .....	59
Figura 63. Diseño Organizacional para el desarrollo del proyecto.....	68

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Operacionalización de variable.....	30
Tabla 2. Datos medidos y calculados por el prototipo.....	60
Tabla 3. Muestra de T-Student. Para las coordenadas “X”.....	61
Tabla 4. Resultados estadísticos de las coordenadas “X”.....	61
Tabla 5. Muestra de T-Student. Para las coordenadas “Y”.....	62
Tabla 6. Resultados estadísticos de las coordenadas “Y”.....	62

## RESUMEN

La población mundial está envejeciendo a pasos acelerados por su estilo de vida. Entre 2100 y 2060, la parte de las personas que habitan el planeta que son mayores de 60 años se duplicará, del 11% al 22%. Lo que se puede decir que este grupo de personas pasará de 605 millones a 2000 millones en 50 años.

En los países desarrollados, entre el 4% y un 6% de las personas adultas mayores han padecido algún tipo de maltrato en su hogar. En los centros encargados de cuidarlos o asistenciales como los asilos de ancianos, se incurren a actos excesivos como atar a los adultos mayores, atentar contra su persona y dignidad, negarles una buena asistencia provocando daños psicológicos de larga duración.

La creación de este proyecto surge de la necesidad de las personas que cuidan a varios adultos mayores y no pueden estar permanentemente con todos los adultos mayores para eso se implementa el desarrollo de un sistema de triangulación por radio frecuencia (rf) en espacios cerrado para el monitoreo y alerta de adultos mayores a través de una red de sensores inalámbricos. El prototipo está desarrollado en el programa Arduino y emplea librerías de módulos Radino para el proceso de localización. La implementación se realizó a través de módulos Radino.

El prototipo recibe la información a través de módulos fijos llamados anclas, y a la vez envían la información al módulo móvil llamado tag, el módulo móvil está conectado a un detector de eventos, en este caso se considera las caídas que puedan sufrir los adultos mayores y poder asistirlo. El módulo móvil usa un transceiver para envía datos de distancia que existe entre los módulos fijos y el móvil a otro transceiver conectado mediante el puerto USB de la PC, y procesar los datos en MatLab para que éste software muestre la posición en una interfaz gráfica.

Lo obtenido de la creación del proyecto ayuda a las personas que cuidan a los adultos mayores, con el uso del sistema de localización conocen la posición con una diferencia de distancia de  $\pm 10$ cm del punto real, eso equivale que el prototipo sea muy confiable para este tipo de trabajo, y a su vez pueden asistirlo en ocasiones de emergencia, con este sistema pueden monitorear y conocer el estadio de varios adultos mayores y facilitar el trabajo de las personas responsables de su cuidado.

## ABSTRACT

The world population is aging at an accelerated pace due to its lifestyle. Between 2100 and 2060, people who inhabit our planet older than 60 years will double, from 11% to 22%. Then this group of people will go from 605 million to 2,000 million in 50 years. In developed countries, between 4% and 6% of older adults have suffered some type of abuse in their home.

In the centers in charge of caring for them or care as nursing homes, excessive acts are incurred such as tying the elderly, attacking their human rights and their dignity, denying them good care causing long-term psychological damage.

This project is developed due to the need of people who care for several older adults and cannot stay permanent with all older adults for that is implemented the development of a system of triangulation by radio frequency (rf) in spaces closed for the monitoring and warning of older adults through a wireless sensor network.

The prototype is developed in the Arduino program and uses Radino module libraries for the localization process. The implementation was made through Radino modules. The prototype receives the information through fixed modules called anchors, and at the same time they send the information to the mobile module called tag, the mobile module is connected to an event detector, in this case, the falls that older adults can suffer are considered to be able to assist him.

The mobile module uses a base transceiver to send distance data that exists between the fixed modules and the mobile to another base transceiver connected through the PC's USB port and process the data in MatLab, so this software displays the position in a graphical interface.

The results from the creation of this project helps the people who take care of the elderly, with the use of the location system because they know their position with a difference of distance of + -10cm from the real point, that means that the prototype is very reliable for this work, and in turn can assist on emergency situations, with this system can monitor and know the stage of several older adults and facilitate the work of the responsible for their care.

  
SIGNATURE

Reviewed by: Maldonado, Ana  
Language Center Teacher



## INTRODUCCIÓN

Las personas adultas mayores son muy importantes en una familia ya que ellos son miembros fundamentales de un hogar y lo a la ves los más vulnerables por su avanzada edad, esa es la razón por la que deben estar en constante vigilancia para conocer sus movimientos en su hogar o en algún lugar determinado donde se desenvuelva normalmente.

Las personas a cargo del cuidado y la vigilancia permanentemente deben estar pendientes de sus movimientos, sin embargo algunos individuos no pueden estar constantemente supervisándolos en una habitación, tampoco hacer actividades físicas o recreativas con ellos.

Las personas adultas al estar en continuo movimiento realizan actividades productivas, esto hace que se sientan útiles y mejoran su estado de ánimo y eso refleja en su salud y evita el estrés o la depresión, por lo tanto se busca la manera de incentivar a las personas a cargo de los cuidados dejar que los adultos mayores puedan desplazarse libremente y monitorearlos no permanentemente a través del uso de un sistema de localización de adultos mayores mediante el método de triangulación de una red de sensores inalámbricos fijos y móviles que facultar a la persona responsable del cuidado tener la capacidad de conocer y observar los movimientos que realice el usuario, además de poder realizar actividades ajenas al cuidado del adulto mayor.

El sistema trabaja con el intercambio de señales de módulos fijos y móviles programados para esta función, son colocados estratégicamente en el área de desplazamiento con el fin de tener una cobertura completa de la misma.

La información recibida y procesada por el módulo móvil será enviada a través de una comunicación inalámbrica formada por un sistema de transceiver que llegará hacia una computadora, los datos recibidos serán analizados a través de procesos

matemáticos en el software de programación MatLab, el software simula un espacio en que trabaja el sistema de localización tomando en cuenta que se representa todos los módulos que intervienen en el funcionamiento ya sean fijos y móviles, de esa manera muestra los desplazamientos que realiza el usuario en la zona de cobertura del proyecto.

Además posee un sistema de alerta de movimientos bruscos o caídas que sufre el adulto mayor, de esa manera el prototipo envía una serie de datos hacia la PC y genera una alerta en la pantalla para que el usuario pueda observarla y pueda asistir al adulto mayor rápidamente y no genere problemas físicos.

Con la implementación de este proyecto se desea facilitar el cuidado de las personas adultas mayores para que no sean impedimento de realizar otras actividades importantes que tenga el familiar o persona encargada del bienestar del adulto mayor mejorando su estilo de vida y estado de ánimo.

## CAPITULO I

### 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 1.1. Antecedentes.

El presente proyecto de investigación toma como inicio el diseño de un prototipo que detecta la posición de personas u objetos, dentro del tema se ha realizado las investigaciones necesarias para poder observar si existen proyectos o innovaciones tecnológicas relacionados al tema planteado o referente al tema de investigación. Por aquello es importante obtener un conocimiento previo al desarrollo del proyecto, con el fin de encontrar soluciones prácticas y adecuadas en base a la experiencia de diferentes autores; donde existen algunas referencias las cuales pueden ser útiles dentro de nuestra investigación.

Alberto Herrera García en su trabajo de fin de carrera realiza unas rutinas en NesC utilizando el sistema operativo TinyOS orientado a redes de sensores WSN, la técnica de localización empleada se denomina DV hop y permite localizar un nodo desconocido por medio del número de saltos de un mensaje enviado a la red de sensores donde se han utilizado nodos repetidores de primer nivel y nodos repetidores de segundo nivel.

El hardware utilizado son los nodos sensores llamados motas que funcionan bajo el estándar IEEE802.15.4, para que pueda enviar los datos a un ordenador de Linux o Windows. (García, 2009)

El Ingeniero Carlos Medina Rodríguez en su proyecto de tesis doctoral de título Redes de sensores inalámbricos orientadas a localización en interiores utilizando ultrasónicos crea el sistema TELEMADE presenta un topología maestro-esclavo y está compuesto de un nodo central denominado nodo coordinador y un conjunto de nodos finales que trabajan como sensores ultrasónicos, el nodo coordinador está conectado físicamente a la PC a través de una interfaz serie y los nodos finales

intercambian información a través de una comunicación ZigBee y de esa manera puede localizar los objetos. (Rodríguez, 2013)

López Vicario José en su documento titulado Método y sistema de localización y seguimiento de un nodo móvil en una red de nodos inalámbricos utiliza un método de localización y seguimiento de un nodo móvil basado en el análisis de información de potencia contenida en las señales recibida desde unos nodos estacionarios con un método que corrige la información de potencia de un nodo, del cual no se recibe o la señal está débil. (López Vicario José, 2013)

El ingeniero Eduardo O. Sosa en el informe de proyecto de título Localización Geográfica de ganado utilizando modelos de propagación de señales y Xbee diseña e implementa un prototipo hardware/software basado en Redes de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Networks WSN) para captar la potencia que emiten de las señales de los enrutadores móviles, y mediante la aplicación del método de Trilateración ayudar a la ubicación de ganado en un área determinada. (Sosa, 2015)

A diferencia del proyecto TELEMADE del Ingeniero Carlos Medina Rodríguez que usa ultrasónicos y una comunicación a base de ZigBee, se implementa éste proyecto de localización a través de módulos Radino Spider y Radino Leonardo que poseen un circuito integrado STM32L151 que se encarga del procesamiento de datos de longitud, y un chip DW1000 que actúa como transceptor de banda ancho ultra baja para la comunicación de los módulos Radino.

## **1.2. Sistema de localización**

Los sistemas de localización en tiempo real (RTLS) facultan a los administradores de red la capacidad de registrar y rastrear la posición de los dispositivos en tiempo real para la gestión de inventarios de objetos, el reporte de ubicación de una persona y el mejoramiento de flujos de operativos. RTLS opera con la intensidad de la señal Wi-Fi de un dispositivo para conocer su ubicación, mediante la triangulación por

medio de múltiples puntos de acceso (APs). RTLS puede leer la señal Wi-Fi de una función de adaptadores Wi-Fi o de variables externas conectadas a un dispositivo. Los RTLS pueden proporcionar muchos beneficios a las organizaciones, entre ellas:

- Ahorrar dinero
- Aumento de la productividad
- Mejora de la seguridad
- Protección de los activos
- Ofrecer mejores servicios (Air-Fi, 2015)

### **1.3. Sistemas de Localización en Exteriores (Outdoor)**

La localización en exteriores se realiza a distancia grandes, utiliza generalmente el GPS Sistema de Posicionamiento Global, trabaja por medio de satélites, utiliza para la localización y ubicación las señales más cercanas a estos. Permite ubicar la posición de una unidad móvil próxima a la superficie terrestre se realiza el posicionamiento al menos con tres satélites. Realiza geo posicionamiento por medio de triangulación de las señales de diversos satélites.

#### **1.3.1. GPS**

El GPS se utiliza para ubicar dispositivos móviles en cualquier punto de la tierra, con una precisión de pocos metros, 15 metros en el 95% del tiempo. En caso de que el sistema WAAS/EGNOS/MSAS esté funcionando, la precisión del sistema aumenta de 1 a 2 metros. Para conocer la ubicación del receptor, éste debe estar al aire libre para que los satélites estimen su posición mediante la técnica de la trilateración.

En entornos en los que existen obstáculos es más difícil buscar las señales de los satélites y se crean efectos de múltiples reflexiones, los cuales introducen errores adicionales. (Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, 2013)

Sin embargo, la baja cobertura de la señal de satélite para entornos interiores disminuye su precisión y lo hace inapropiado para estimar la posición en interiores. La tecnología A-GPS utiliza un servidor de localización con un receptor GPS, que es capaz detectar simultáneamente los mismos satélites que teléfono móvil, para ayudar al receptor GPS a localizar señales débiles, como se muestra en la Figura 1. (Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, 2013)



Figura 1. Sistema de posicionamiento global

Fuente: <http://amazoniaforestal.blogspot.com/2011/10/uso-del-sistema-de-posicionamiento.html>

### 1.3.2. RFID

El sistema RFID se utiliza para el almacenamiento y recuperación de datos a través de la transmisión electromagnética de un circuito integrado mediante el sistema de radiofrecuencia. El propósito fundamental de la tecnología RFID es la de transmitir la identidad de un objeto. Un sistema de RFID está formado de lectores y etiquetas RFID, los cuales tienen la capacidad de comunicarse entre sí, como se muestra en la Figura 2.

El lector RFID posee la capacidad de leer los datos emitidos por las etiquetas. Los lectores y las etiquetas RFID utilizan frecuencias definidas y un protocolo para la transmisión y recepción de datos, y las etiquetas pueden ser pasivas o activas.

Las etiquetas pasivas de RFID funcionan sin batería, su función principal de su creación es para reemplazar la tecnología anterior del código de barras y son mucho más ligeros, más pequeños en volumen, y menos costosas que las activas. La señal que les llega desde los lectores es suficiente para hacer funcionar el circuito integrado del tag, de forma que pueda generar y transmitir una respuesta. Sin embargo, el radio de acción es muy limitado, tienen un rango de 1-2 m, y el costo de los dispositivos lectores es relativamente alto. Estos sistemas generalmente usan 4 bandas de frecuencia: LF (125 kHz), HF (13,56 MHz), UHF (433, 868-915 MHz), y la frecuencia de microondas (2,45 GHz, 5,8 GHz). (Legarretaetxebarria, 2011)

El sistema puede interactuar con distintas técnicas de localización entre ellas la técnica RTOF y TDOA. (Legarretaetxebarria, 2011)

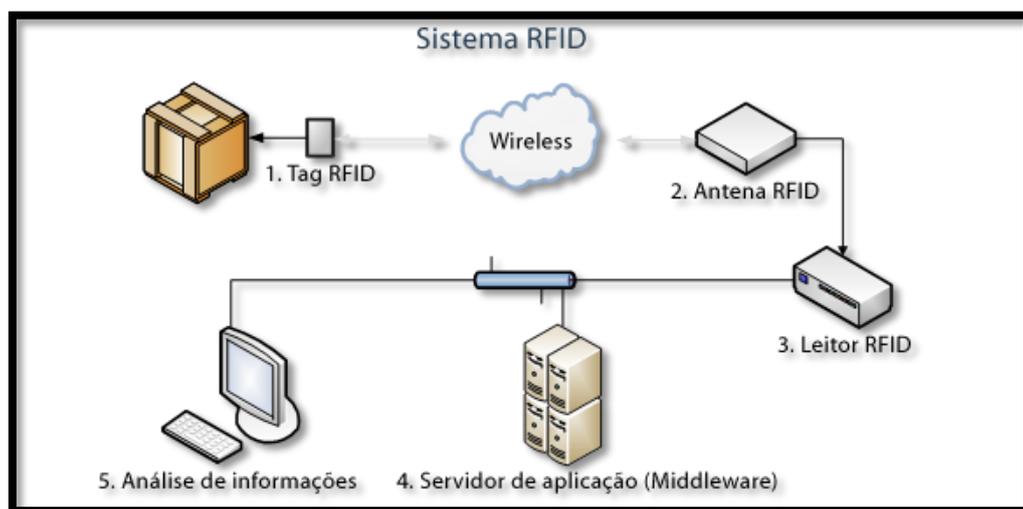


Figura 2. Funcionamiento del sistema RFID

Fuente: <http://www.quaronline.com/comunidad/los-sistemas-rfid-ayudan-a-otros-profesionales/>

### 1.3.3. UWB (Ultra Wave Band)

La UWB es una tecnología de comunicación que tienen diferentes aplicaciones cada una de ellas con diferentes adaptaciones. La más extendida, conocida como OFDM UWB es utilizada para comunicaciones de alta velocidad, con un gran ancho de banda y con poco rango de alcance.

Para la función de localización es necesario una configuración específica que consiste en la emisión de pulsos cortos normalmente menos a 1ns, además con un ciclo muy bajo generalmente 1:1000. En relación al dominio de la frecuencia, el sistema, utiliza un extenso ancho de banda en un rango mayor a 500 MHz de ancho. (Legarretaetxebarria, 2011)

Para realizar procesos con UWB para brindar soluciones de localización es beneficioso el uso de pulsos cortos de transmisión en lugar de otras configuraciones de onda más complejas. La razón del uso de pulsos cortos ayuda para que la técnica TDOA será más precisa si la señal recibida llega en su totalidad al mismo tiempo.

Los receptores deben ser sincronizados con muy alta precisión en interiores en un rango mayor de 15 cm y ubicarlos estratégicamente como se ve en la Figura 3. Combina TDOA con AOA para la localización de etiquetas en tiempo real.

La ventaja de utilizar estas dos soluciones, es que la posición se puede determinar usando sólo dos módulos sensores, reduciendo la cantidad y costo de sensores necesarios sobre los sistemas que sólo se enfocan la utilización de TDOA.

(Legarretaetxebarria, 2011).

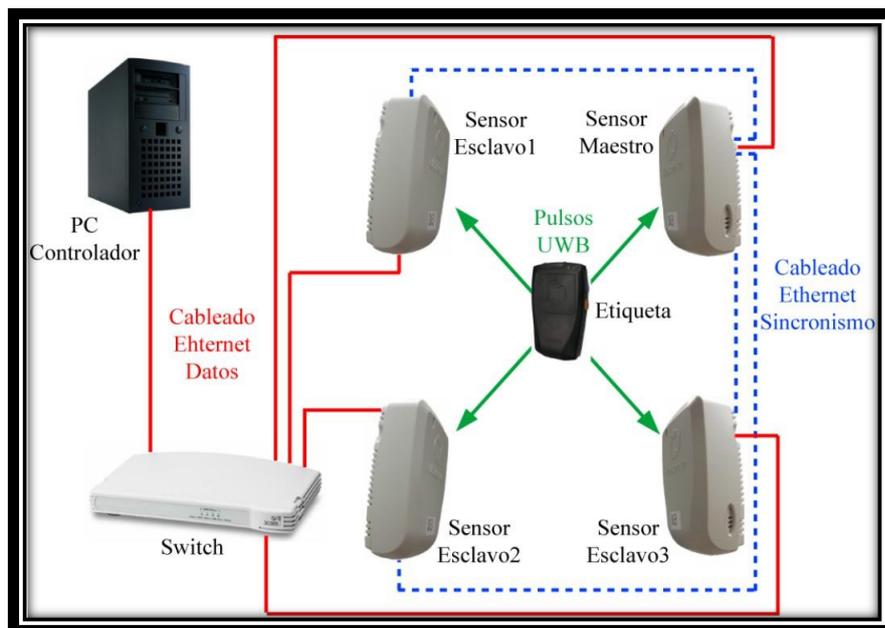


Figura 3. Funcionamiento de sistemas UWB  
Fuente: <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/multimedia.php>

### 1.3.4. Radar

El sistema RADAR plantea una localización de usuarios en construcciones, usando en el método k-nn.

Los creadores proponen dos maneras diferentes de conocer la ubicación del usuario. La primera forma se basa en la medición de la intensidad de la señal. En estos experimentos se especifica que al momento de intentar conocer la posición del usuario, el número de puntos de datos, y el número de muestras obtenidas en tiempo real, pueden perjudicar la exactitud del sistema de localización.

La segunda forma se basa en un modelo de propagación de la señal, se fundamenta en el modelo de propagación utilizando el factor de atenuación de las paredes (WAF) y de los suelos (FAF), la exactitud del sistema de RADAR es de unos 3.2 m, su forma de funcionamiento se puede observar en la Figura 4. (Pancorbo, 2003)

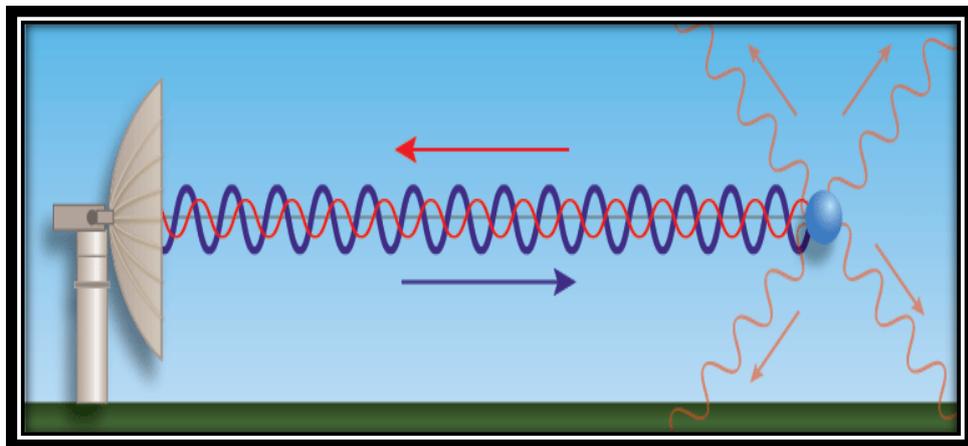


Figura 4. Funcionamiento de un RADAR  
Fuente: <https://aviatorbluewings.com/el-radar-meteorologico/>

### 1.3.5. ZIGBEE

Es el nombre de la especificación que trabaja con un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica de alto nivel para la utilización de radio digitales con bajo consumo basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas para área personal.

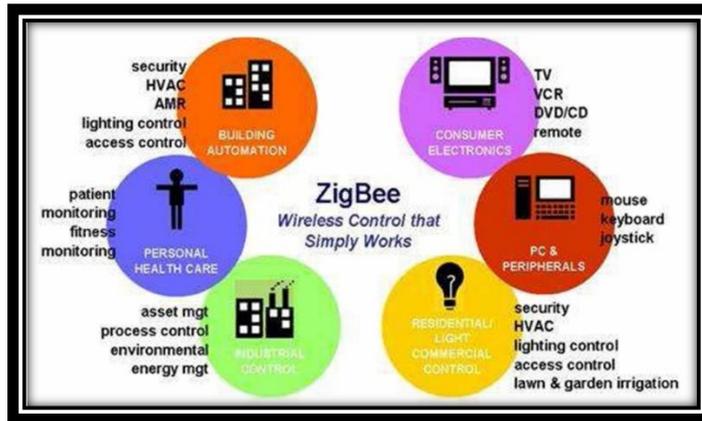


Figura 5. Sistema ZigBee  
 Autor: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>

Se basa en las aplicaciones para redes Wireless con baja tasa de envío y recepción de datos que necesitan comunicaciones fiables y seguras, aprovechando de mejor manera la vida útil de su fuente de energía, posee distintas aplicaciones como se ve en la Figura 5. (Prade, 2009)

#### 1.4. Sistemas de Localización en Interiores (Indoor)

Existen tecnologías para el posicionamiento en interiores, se muestra las características de las más empleadas, no todos los medios empleados brindan resultados óptimos de funcionamiento.

En espacios cerrados se considera que la comunicación tendrá algunas modificaciones, ya que las señales serán modificadas o interrumpidas por distintos objetos como paredes, puertas, ventanas etc., también pueden afectar otras redes que trabajen a la misma frecuencia que pueden afectar la función de localización.

##### 1.4.1. Infrarrojos

Se emplean para el proceso de localización utiliza el sistema de aproximación. Tiene limitación ya que sus señales no pueden atravesar cuerpos tal como se muestra en a Figura 6.

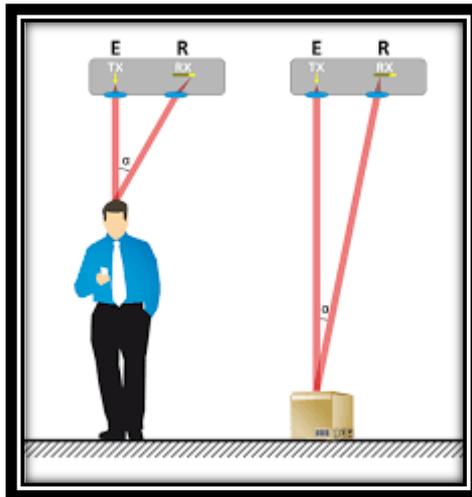


Figura 6. Sistema Infrarrojo

Fuente: <http://www.aresseguridad.es/p/es/sistemas-de-seguridad/sistemas-seguridad-perimetral.php>

### 1.4.2. Ultrasónicos

Se basa en el principio del tiempo de retardo de la señal que regresa al dispositivo. Utiliza transmisores y receptores ultrasónicos, las señales de ida y vuelta actúan tal como se muestra en la Figura 7.

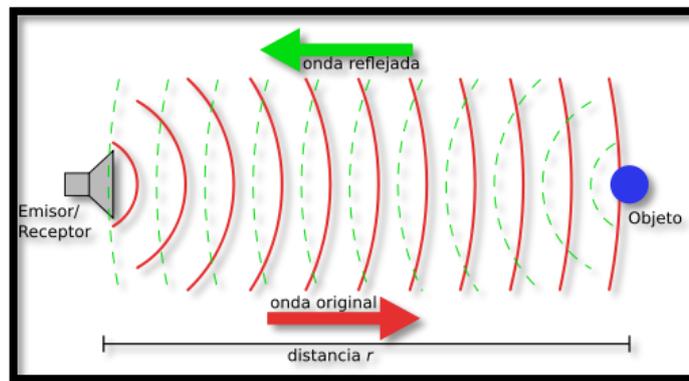


Figura 7. Sistema Ultrasónico

Fuente: <http://cursoarduinoomega.blogspot.com/2015/04/sensor-de-distancia-hc-sr04.html>

### 1.4.3. RFID

Se trata de tecnología de identificación, emplea la medida de potencia para el alcance y los códigos de información recibidos sirven para la identificación del Tag para el establecer la localización utilizando una forma de conexión en la forma que se muestra en la Figura 8.

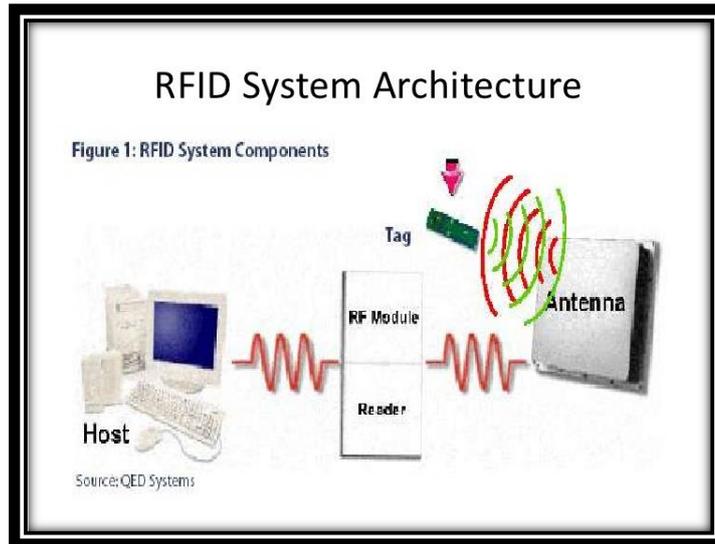


Figura 8. Sistema RFID  
Fuente: <http://slideplayer.com/slide/5689049/>

#### 1.4.4. Wi-Fi

Generalmente el sistema mayor utilizados, pueden utilizar la red existente tal como se muestra en la Figura 9. Puede tener un decrecimiento de rendimiento por falta de visión directa de los dispositivos NLOS.

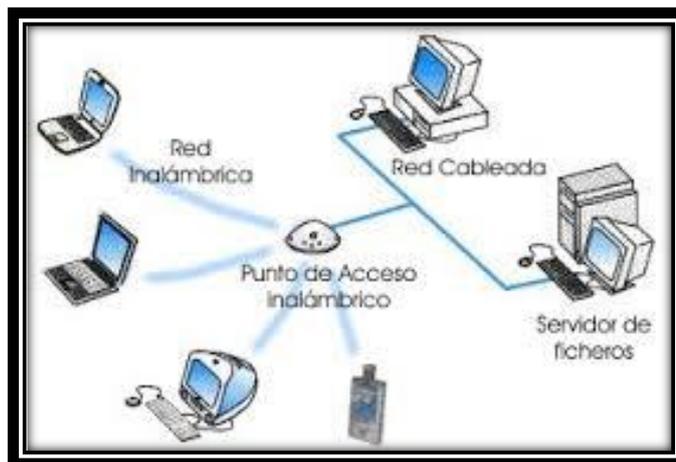


Figura 9. Sistema Wi-Fi  
Fuente: <http://www.redeswifi.info/>

#### 1.4.5. Bluetooth

Comunicación de tipo inalámbrica de acceso personal. Tiene una limitación de potencia y tamaño. Una ventaja es que varios aparatos tienen incorporada esta tecnología y pueden conectarse entre sí de la forma en que se muestra en la Figura 10.

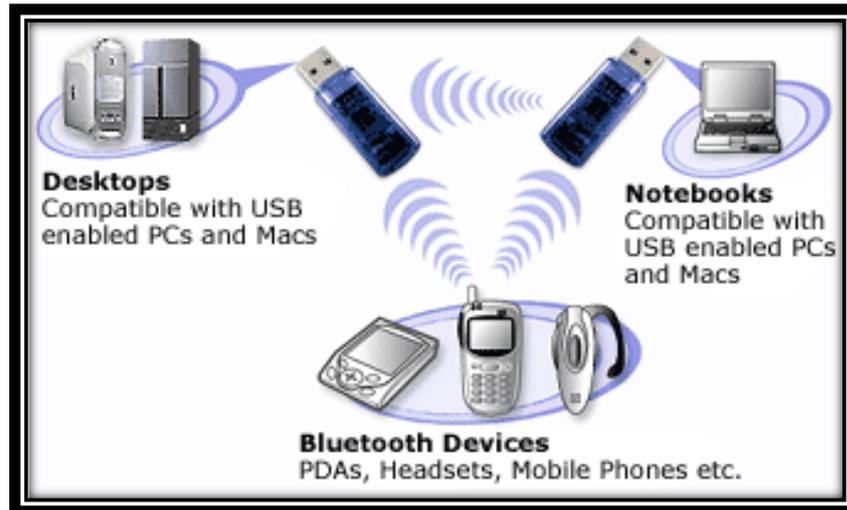


Figura 10. Sistema Bluetooth

Fuente: <https://etecnologia.com/gadgets/funcionamiento-bluetooth>

## 1.5. Posicionamiento

Los sistemas de posicionamiento, o también llamados sistemas de localización, se desarrollan cada vez más y comienzan a ser necesarios e imprescindibles en la vida cotidiana de las personas al igual que ocurre con el teléfono móvil.

Los rápidos avances de la tecnología, así también como de los sistemas inteligentes han hecho posible el desarrollo de sistemas con funciones de localización, esto quiere decir, con la capacidad de conocer la ubicación de un dispositivo en un área determinada.

### 1.5.1. Posicionamiento basado en redes de comunicaciones

Los sistemas de posicionamiento basado en redes de comunicación, a su vez se clasifican en tres tipos:

- Posicionamiento en redes móviles (CDMA, GSM y otras bandas).
- Posicionamiento en redes inalámbricas locales (WLAN).
- Posicionamiento por sensores en redes ad-hoc.

### 1.5.2. Posicionamiento en redes móviles

Basándose en la propia estructura de éstas redes, se puede ver que para su propio funcionamiento es necesario conocer la celda en la que se encuentra el usuario, por lo que se puede dar una primera aproximación a su posición. En estos sistemas se usan sus primordiales características de arquitectura combinados.

#### ➤ **Identificación de celdas (CELL ID)**

Se puede identificar la celda desde la que está emitiendo la señal del móvil donde tiene cobertura. Sirve para localizar todo tipo de dispositivos móviles en redes GSM, GPRS, UMTS y CDMA, este método es el más sencillo de localización y también el de menor confianza y menos precisión.

#### ➤ **Dirección o ángulo de llegada (AOA, Angle Of Arrival)**

Este método de dirección o ángulo de llegada utiliza antenas multiarray colocadas en la estación base para conocer el ángulo de la señal incidente. Si el terminal que transmite una señal colocada en la línea de vista directa, la antena multiarray puede determinar de qué dirección exacta viene la señal, es similar a ToA y TDo con la desventaja que necesita un hardware complementario altamente caro para poder funcionar correctamente en una red de sensores muy grandes.

#### ➤ **En función de la diferencia de tiempos de llegada perfeccionado (E-OTD).**

Usado en GSM con el algoritmo de triangulación. Se utiliza en GSM y GPRS, se necesitan unos receptores especiales y la instalación de un software en los terminales móviles.

Los receptores y los móviles realizan medidas de las señales emitidas procedentes de tres o más estaciones base, usan las diferencias de tiempo en la llegada de la señal entre los 2 puntos, que combinadas elaboran unas líneas hiperbólicas que se intersectan en el lugar donde se está el terminal.

➤ **Diferencia del tiempo de llegada en el enlace ascendente. (U-TDOA).**

Usa la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal originada en el terminal móvil a distintos pares de estaciones base para evaluar la posición.

➤ **Sistema de posicionamiento Global avanzado (AGPS).**

Usan receptores de referencia que recolectan información de navegación y datos de corrección diferencial para los satélites GPS que están en la zona de cobertura del servidor de localización.

### **1.5.3. Posicionamiento en redes locales inalámbricas**

El posicionamiento en redes inalámbricas locales (WLAN) se basa en la infraestructura LAN inalámbrica y utiliza las mediciones de la potencia de la señal de los puntos de acceso (AP) de LAN inalámbrica.

La técnica utilizada se la conoce como 'location fingerprinting'. Es útil en la mayoría de los ambientes interiores, donde las técnicas de GPS no cumplen los requerimientos de las aplicaciones, pues la cantidad de potencia de la señal que llega es muy débil, también puede trabajar para ambientes controlados al aire libre, donde es probable que supere la precisión de los dispositivos GPS, por motivo a que la señal percibida es tiene mucho más potente.

### **1.5.4. Posicionamiento en redes Ad-Hoc**

Las redes Ad-Hoc son un grupo autónomo y espontáneo de routers móviles, conectados por enlaces inalámbricos que no se sujetan a una infraestructura fija. Se proyectan para trabajar en ambientes adversos e irregulares, siendo capaces de cambiar su topología para admitir nuevas formas y mantener la red funcional.

Las características de este tipo de redes se detallan a continuación:

### **1.5.5. Movilidad.**

Los nodos son móviles de manera que su topología de la red pueda estar cambiando continuamente, creándose y destruyéndose los enlaces dinámicamente.

### **1.5.6. Nodos autónomos y sin infraestructura**

No se dispone de una administración centralizada o fija, cada nodo opera en modo “peer-to-peer” actuando como un router independiente.

### **1.5.7. Encaminamiento “multihop” (múltiples saltos):**

No se requiere de un router dedicado al encaminamiento, cada nodo de la red se comporta como un router y envía paquetes procedentes de distintos nodos.

### **1.5.8. Ancho de banda limitado**

Al disponer de una interfaz inalámbrica las comunicaciones se ven atenuadas por interferencias de señales electromagnéticas.

### **1.5.9. Consumo de energía**

Los nodos están alimentados por baterías, el control de la potencia se vuelve un aspecto clave para estas redes, ya que se desea que todos los nodos sean independientes y activos el mayor tiempo posible para mejorar su funcionamiento. (Prade, 2009)

### **1.5.10. Modelo empírico**

Los modelos empíricos son aquellos que para el sistema de posicionamiento a construir se basa en el método de la recolección de información de su entorno ‘a priori’.

Dicha información debe ser clasificada y almacenada en base de datos.

A partir de la información recolectada se puede obtener la posición de los elementos en la red, con distintas técnicas:

- Distancia mínima.
- K-vecinos más próximos.
- Redes neuronales.

## **1.6. Técnicas de localización**

Un escenario para la localización, está conformado por un conjunto de mínimo tres nodos de referencia cuyas datos de coordenadas  $(X_{Nr1}, Y_{Nr1})$ ,  $(X_{Nr2}, Y_{Nr2})$  y  $(X_{Nr3}, Y_{Nr3})$  establecen un área o perímetro de localización y uno o más nodos móviles  $(X_{M1}, Y_{M1})$  de los cuales se ignora su ubicación.

En uno de los posibles escenarios los nodos fijos pueden comportarse como receptores  $(Prx1, Prx2, Prx3)$  desde donde se pueden medir distintos parámetros de la señal enviada por cada uno de los nodos móviles como datos de: potencia recibida, el ángulo de llegada y el tiempo que demoran las señales en transmitirse desde el nodo transmisor hasta los nodos receptores en otro caso los nodos fijos funcionan como transmisores  $(TX1, TX2, TX3)$  y el nodo móvil es el receptor  $(Prx)$ . (RUGELES, 2012)

### **1.6.1. Triangulación**

La triangulación emplea las propiedades de los triángulos para determinar la posición del objeto de estudio, mediante el cálculo de distancias de varios de los puntos de referencia, estos puntos deben ser por lo mínimo de tres, y deben estar en la zona de cobertura de los dispositivos de control tal como se muestra en la Figura 11.

Se lo realiza midiendo las distancias utilizando el RSS (Received Signal Strength), el TAO (Time Of Arrival), TDOA (Time Difference Of Arrival), el RTOF (Round Trip Time Of Flight) o le AOA (Angle Of Arrival). Este tipo de técnicas consideran la posición por medidas de la distancia.

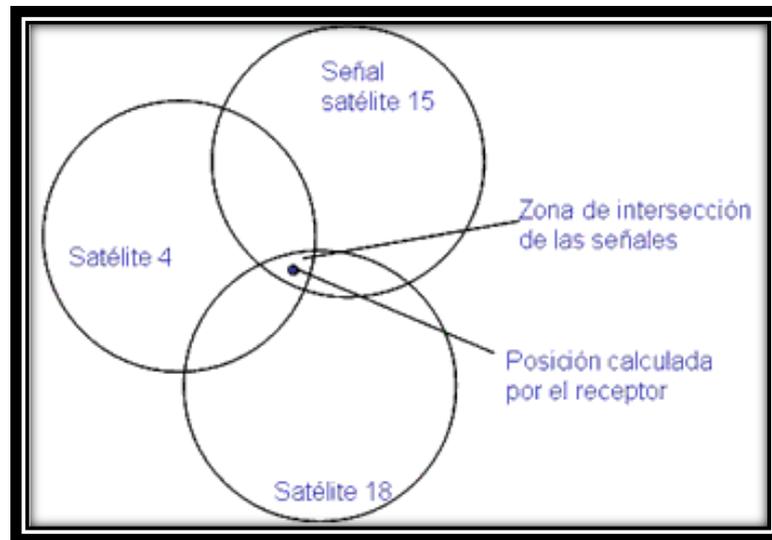


Figura 11. Triangulación de señales.

Fuente: <https://www.aristasur.com/contenido/como-funciona-el-sistema-de-posicionamiento-gps>

### 1.6.2. Técnicas basada en RSS

La técnica se basa en la atenuación por la señal y necesitan medidas temporales exactas, lo que supone una desventaja en el entorno de interiores. Este escenario, el canal de comunicaciones tolera lo que se conoce como la multitrayectoria de la señal en el receptor. Y si encima la densidad de receptores no es muy alta, resulta difícil encontrar canales entre los terminales móviles y alguno de los receptores, por lo que la estimación precisa de los tiempos de llegada resulta complicada.

### 1.6.3. Técnica TOA

Esta técnica se fundamenta en la medición del tiempo que emplea la señal en llegar a los receptores. La distancia entre dos terminales receptoras de la señal es directamente proporcional al tiempo de propagación de la señal entre los receptores, tal como se muestra en la Figura 12.

Adquiriendo dicha distancia para los tres nodos receptores, es posible conocer la posición del nodo móvil, para poder hacer este proceso de posicionamientos todos los transmisores y receptores deben estar sincronizados perfectamente.

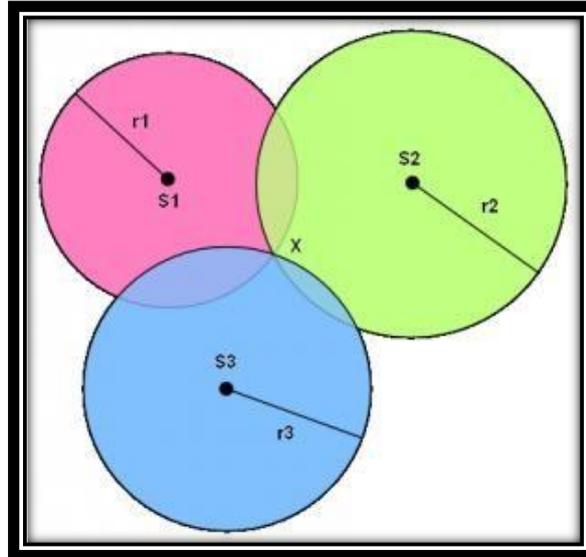


Figura 12. Técnica TOA

Fuente:

[https://www.researchgate.net/publication/228705728\\_Tecnicas\\_de\\_Localizacion\\_en\\_Redres\\_Inalambricas\\_de\\_Sensores](https://www.researchgate.net/publication/228705728_Tecnicas_de_Localizacion_en_Redres_Inalambricas_de_Sensores)

#### 1.6.4. Técnica TDOA

Esta técnica se basa fundamentalmente en la triangulación de las distancias de los emisores obtenidas de forma relativa (diferencia entre unas señales y otras). Las ondas de los distintos emisores llegan al receptor con una diferencia de tiempo en función de las distancias del receptor con respecto a los módulos emisores de las mismas. Así, el receptor, trata de identificar los emisores que generaron las señales, sólo tiene que medir el tiempo transcurrido entre la llegada de cada una de las diferentes señales y calcular los puntos que cumplen la diferencia de tiempo obtenida.

De esta manera se genera, por cada diferencia de tiempo tomada, se genera una hipérbola si la medición se realiza en 2 dimensiones, o se genera un hiperboloide si se hace en 3 dimensiones. La posición resultante se basa en el cálculo de la intersección de todas las hipérbolas o hiperboloides generados.

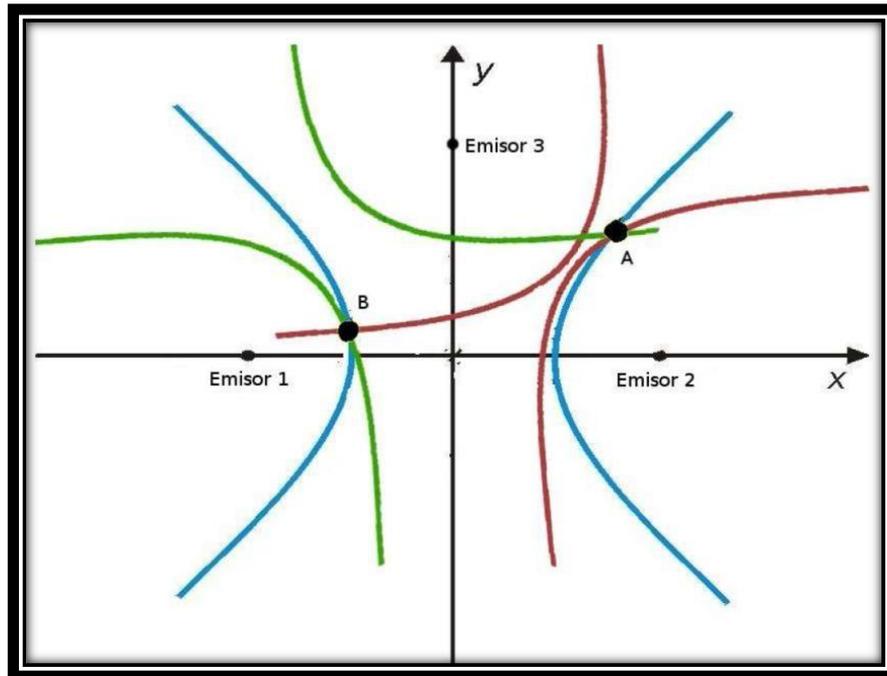


Figura 13. Técnica TDOA

Fuente: [https://www.rohde-schwarz.com/lat/aplicaciones/r-s-esmd-aumentar-la-precisi-n-de-la-marca-de-tiempo-en-aplicaciones-tdoa-ficha-de-aplicacion\\_56279-39375.html](https://www.rohde-schwarz.com/lat/aplicaciones/r-s-esmd-aumentar-la-precisi-n-de-la-marca-de-tiempo-en-aplicaciones-tdoa-ficha-de-aplicacion_56279-39375.html)

Todos los emisores envían la señal al mismo tiempo, el receptor captará primero la señal procedente del emisor que tenga más cercano iniciando un contador para calcular la diferencia al resto de señales y poder procesarlas. Después, con una pequeña diferencia de tiempo, la señal del segundo emisor más próximo alcanzará al receptor almacenando el valor del contador, permitiéndole de esa manera calcular la hipérbola de color azul de la Figura 13, y así repetitivamente obteniendo las diferencias de tiempo a los distintos módulos emisores, permitiéndole calcular las hipérbolas roja y verde de la Ilustración 13 hasta que reciba la todas las señales de los emisores involucrados.

### 1.6.5. Técnica RTOF

Esta técnica se fundamenta en la medida del todo el tiempo que transcurre desde el momento que un nodo envía un todo un paquete de datos al terminal móvil, hasta que el nodo móvil recibe la respuesta. El terminal móvil debe contestar rápidamente a un mensaje designado, actuando así a modo de radar. De esta manera, es posible calcular la distancia que existe entre ambos y se puede

aplicar un algoritmo parecido a los utilizados en las técnicas de TOA para conocer la posición del terminal móvil, si bien ahora los requerimientos de sincronización son menores.

La dificultad principal de esta técnica es que el nodo no sabe el tiempo que tarda el terminal móvil en tratar de procesar el mensaje. Para grandes distancias, este tiempo puede considerarse despreciable, pero no para distancias cortas, por lo que se puede decir que la precisión de los sistemas RTOF es baja.

### 1.6.6. Técnica AOA

Esta técnica se fundamenta en la estimación de la posición de los ángulos relativos de llegada de la señal originada de diferentes terminales fijos o nodos. La valoración de la posición del objeto se determina en función del ángulo que forma la línea que une al terminal móvil y cada nodo con un determinado ángulo de referencia, tal como se observa en la Figura 14.

En esta forma de cálculo es necesaria la presencia de dos o más nodos para conocer la posición del terminal móvil. La valoración de los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  se puede realizar a través de antenas directivas o con arrays de antenas.

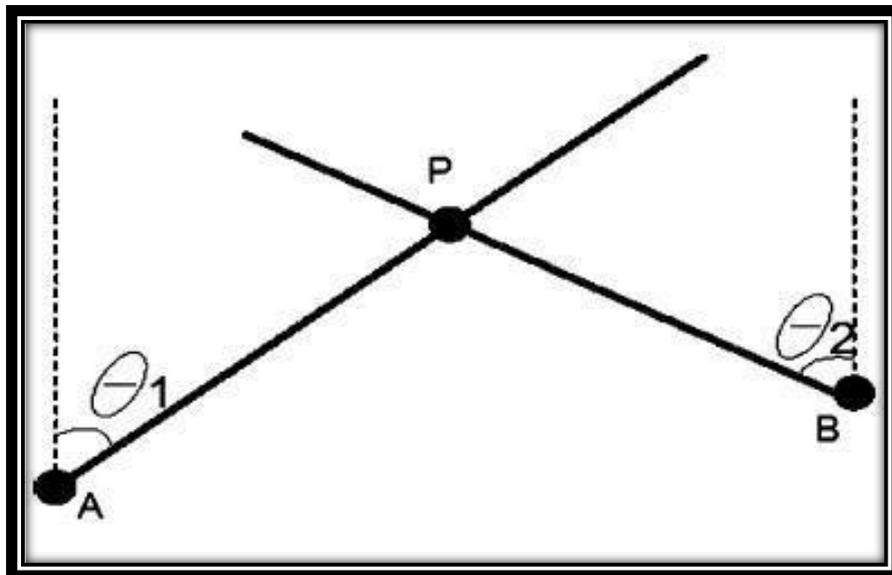


Figura 14. Técnica AOA

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos93/estudio-sistemas-y-tecnicas-posicionamiento-interiores-traduccion/estudio-sistemas-y-tecnicas-posicionamiento-interiores-traduccion.shtml>

### 1.6.7. Vector de potencia

Este método se utiliza en aquellos modelos de sistemas empíricos, usando la técnica de “distancia mínima”. Para usar este tipo de método en primer lugar es indispensable conocer los AP’s con los que se disponen y su información.

Para operar el sistema se almacena en una banco de datos las señales recolectadas desde los distintos AP’s por el usuario en diferentes puntos tal como se representa en la Figura 15.

Para poder conocer la posición del usuario o nodo móvil posteriormente detectando los niveles de señal más próximos al vector de señales que se generen en esos momentos, comparando los vectores de potencia con una medida de distancias. (Carlos, 2009)

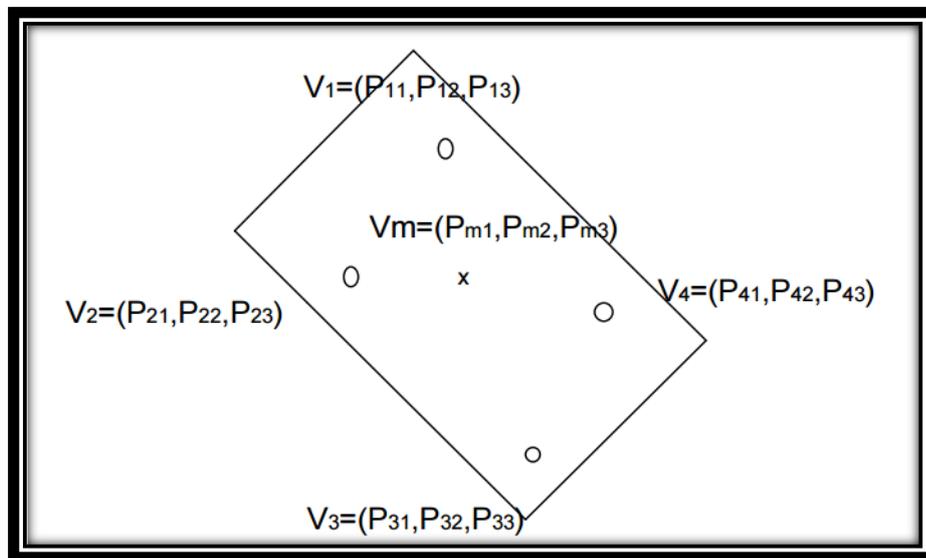


Figura 15. Vector de Potencia.  
Fuente:

### 1.6.8. Multilateración

De la misma manera que en el método de triangulación, para la multilateración se requiere las distancias a un número determinado de nodos fijos colocados como muestra la Figura 16, para conocer la posición de un nodo móvil, las distancias se determinan utilizando TDoA. (Polo, 2012)

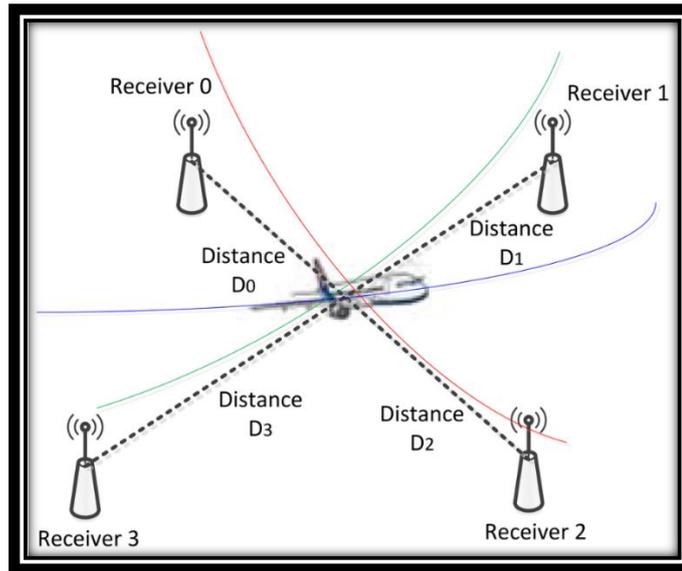


Figura 16. Técnica de multilateración  
 Fuente: <https://m.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4113885&page=10>

### 1.7. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Consiste en dispositivos distribuidos en espacios autónomos utilizando una red de sensores para monitorear las condiciones físicas o ambientales.

Un sistema WSN posee una puerta de enlace o gateway que brinda de conectividad inalámbrica de regreso a un conjunto de cables y nodos distribuidos estratégicamente tal como se observa en la Figura 17.

El protocolo inalámbrico se lo selecciona dependiendo de la clase de aplicación que se requiere.

Algunos de los estándares disponibles para esta red de sensores poseen radios de 2.4 GHz fundamentados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11, los cuales son generalmente de 900 Mhz.

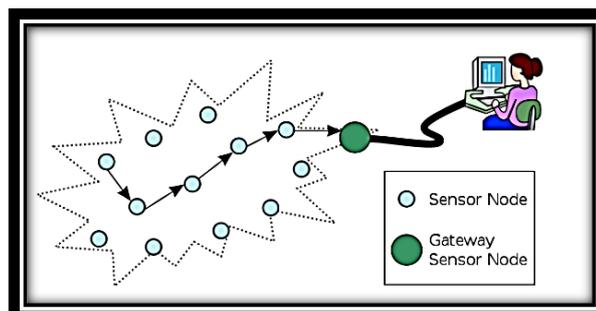


Figura 17. Red de sensores inalámbricos  
 Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_sensores](https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_sensores)

### 1.7.1. Topología de Red WSN

Los nodos que forman una red WSN están estratégicamente organizados en uno de los tres tipos de topologías de red de distintas formas como se muestra en la Figura 18.

Topología de estrella, cada uno de los nodos se enlaza directamente al gateway.

Topología de árbol, cada uno de los nodos se enlaza a un nodo de mayor jerarquía y después se conecta al gateway, los datos recolectados son ruteados desde el nodo de menor jerarquía en el árbol hasta llegar al gateway.

Las redes de tipo malla, este tipo de red se caracteriza que los nodos se pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y enviar los datos por el camino de mayor confiabilidad.(NATIONAL INSTRUMENT, 2009)

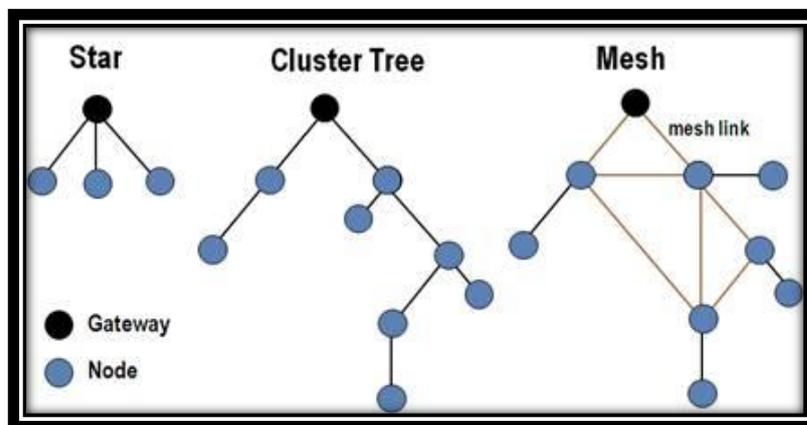


Figura 18. Topología WSN

Fuente: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>

### 1.7.2. Radino Spider

El Radino Spider es un módulo de bajo costo de desarrollo compatible para todos los módulos Radino / radino32 con conector RP-SMA, es un módulo pequeño como se nota en la Figura 19, de fácil manipulación.

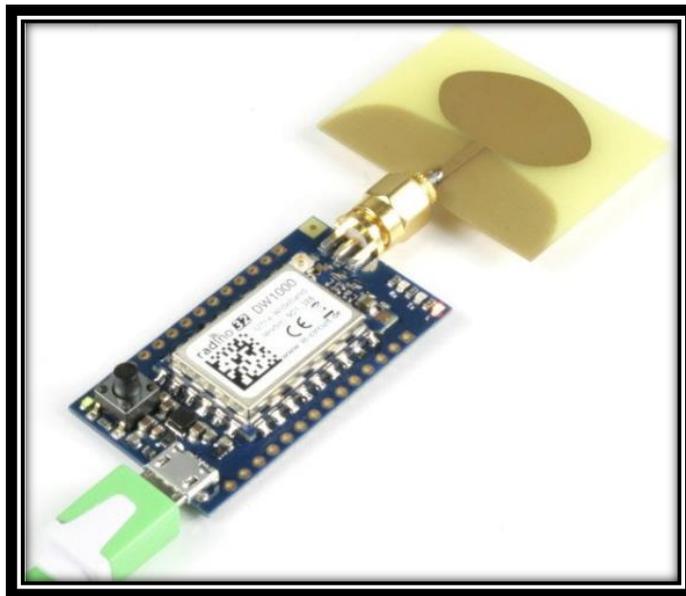
En el módulo ya está integrado:

- Conector RP-SMA

- Conector micro-USB
- Botón de reinicio
- Seleccionar el botón de arranque
- Arduino LED-típicos (por IO13 (LED), RX, TX)
- Regulador de 3.3V
- LED para indicar el inicio de una tarea
- Gestor de arranque compatible con el IDE de Arduino, caracterizado por la araña se puede programar directamente desde el IDE de Arduino

**Características:**

- Contiene un microprocesador STM32L151 en su interior
- Posee un chip DW1000 que se encarga del posicionamiento de objetos
- Compatible con todos los módulos de Radino (IN-CIRCUIT, s.f.)



*Figura 19. Radino Spider*

*Fuente: [https://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=186&language=en](https://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=186&language=en)*

**1.7.3. Radino Leonardo**

El módulo de soporte Radino Leonardo tiene una base de resorte que se ajusta a todos los módulos de Radino, posee un conector que impide la salida del chip DW1000, tal como se observa en la figura 20.

El conector ICSP, los LED, la posición del puerto USB es compatible con la familia de Arduino Leonardo.

El módulo de soporte provee de convertidores de nivel para todos los puertos IOs digitales, la tensión de referencia del convertidor es seleccionada por el puerto de alimentación externa.

### Características:

- Radino Leonardo es compatible con diferentes módulos Arduino.
- También tiene adecuado un enchufe de programación (IN-CIRCUIT, 2014)



Figura 20. Radino Leonardo

Fuente: [https://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=35](https://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=35)

### 1.7.4. DW1000

El DW1000 combina un STM32L151, es un chip de banda ultra ancha (UWB) transceptor totalmente integrado de bajo consumo bajo costo, IC compatible con IEEE802.15.4-2011. Es un chip pequeño tal como muestra la Figura 21, que se coloca en la base del Radino Leonardo. Se puede utilizar en 2 vías que van de sistemas de localización con la técnica TDOA para localizar objetos con una precisión de 10 cm, a su vez es compatible con la transferencia de datos a velocidades de hasta 6,8 Mbps. (IN-CIRCUIT, 2014)



Figura 21. Sensor DW1000

Fuente: [https://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=186](https://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=186)

### 1.7.5. Antena

Es una antena planar de banda ultra ancha omnidireccional con un conector para integrar a los dispositivos, muestra la Figura 22.

#### Características

- Específicamente fue diseñado para funcionar con productos a base DW1000
- Rango de frecuencia operacional: 3 GHz a 8 GHz
- Ganancia máxima:
  - 2.2 dBi a una frecuencia de 4 GHz
  - 3.3 dBi a una frecuencia de 6.5 GHz
- Patrón de radiación: omnidireccional
- Aplicada para la infraestructura basada DW1000, funciona con anclas y etiquetas basadas en DW1000. (IN-CIRCUIT, 2014)



Figura 22. Antena Microstrip

Fuente: [https://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=187](https://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=187)

### 1.7.6. Transceptor SHT-SV651-TTL-232

Es un módulo de comunicación inalámbrica, con éste transceptor se puede tener comunicación bidireccional a través de radiofrecuencia tal como se ve en la Figura 23. (Díaz, 2010)

- Incluye Antena
- Frecuencia: 433 Mhz.
- Modulación: GFSK
- Interfaz: 485
- Potencia: 100 mW
- Voltaje: 5V



*Figura 23. Transceptor SV651*

*Fuente: <http://www.electronicaestudio.com/rfestudio.htm>*

### 1.7.7. Convertidor USB 232

Se conecta a él transceptor SHT-SV651 y a la PC, es usando para controlar y conocer el estado de las I/O's desde la PC, posee cable conectados a la placa tal como se ve en la Figura 24, se debe manejar con mucha precaución. (Díaz I. J., 2010).



Figura 24. Convertidor R232

Fuente: <http://www.electronicaestudio.com/rfestudio.htm>

### 1.7.8. Arduino Nano

La placa de Arduino Nano de fácil manipulación tal como muestra la Figura 25, está basado en el ATmega328, este dispositivo va a funcionar conjuntamente con un giroscopio para conocer el estado del adulto mayor, en este caso poder conocer cuando una persona sufre una caída y de esa manera conocer su bienestar físico y en caso de sufrir una emergencia poder asistirlo.

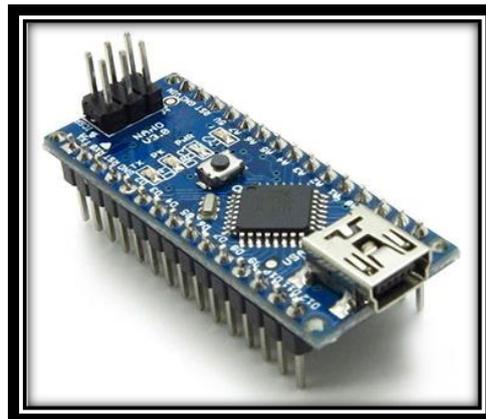


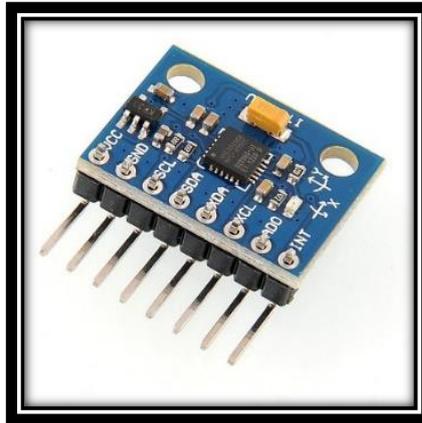
Figura 25. Arduino Nano

Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

### 1.7.9. Giroscopio MPU6050

Este dispositivo se utiliza para medir velocidades angulares basándose en el impulso de rotación de la posición inicial, el giroscopio determina y muestra el cambio de rango en rotación en sus tres ejes X, Y y Z ya que posee un chip tal como se ve en la Figura 26.

Con este dispositivo se conocerá cuando la persona a localizar sufre una caída o movimiento brusco que puede afectar su integridad física.



*Figura 26. Giroscopio*

*Fuente:*

*[http://suconel.com.co/home2/suconelc/public\\_html/index.php?option=com\\_virtuemart&view=productdetails  
&virtuemart\\_product\\_id=8064234&virtuemart\\_category\\_id=225](http://suconel.com.co/home2/suconelc/public_html/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=8064234&virtuemart_category_id=225)*

## **CAPITULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. Tipo de estudio**

Investigación de trabajo descriptivo y explicativo, es descriptiva porque se basa en la manifestación de un fenómeno de localización de una persona en espacios cerrados a través de un sistema de módulos inalámbricos en un lugar determinado.

Investigación explicativa: se la realiza porque se va a detallar y explicar todos los pasos y procesos del sistema a efectuar para lograr el propósito de este documento.

#### **2.2. Métodos, Técnicas e Instrumentos**

##### **2.2.1. Métodos**

###### **2.2.1.1. Analítico/Deductivo**

Se realizó a través del método analítico/deductivo ya que para iniciar el desarrollo del proyecto se necesita analizar el funcionamiento y las características de los elementos electrónicos seleccionados para el proyecto, de esa manera puedan interactuar entre sí.

##### **2.2.2. Técnicas**

###### **2.2.2.1. Observación**

Esta técnica se ayuda a la recolección de datos específicos para conocer la ubicación de los dispositivos para que tengan un mejor funcionamiento y de esa manera poder triangular la posición de la persona adulta en un entorno cerrado.

##### **2.2.3. Instrumentos**

Los instrumentos necesarios para el desarrollo del proyecto son datasheeps, instrucciones de programación, pruebas técnicas.

### 2.3. Población

Sera dirigida a personas de la tercera edad en un ambiente cerrado, una limitación del estudio será el alcance que tengan los elementos empleados.

### 2.4. Muestra

El proyecto consta del desarrollo de un prototipo por lo cual no se determina una muestra.

### 2.5. Hipótesis

El desarrollo de un sistema de triangulación por radiofrecuencia en espacios cerrados para el monitoreo y alerta de adultos mayores a través de una red de sensores inalámbricos ayuda a la persona responsable de ellos a conocer su posición en un lugar determinado.

### 2.6. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variable.

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS.
<b>Algoritmo de triangulación.</b>	Es un algoritmo que describirán el posicionamiento de un punto a través de un método mediante el cual se podrá determinar la posición de un punto	Modelo matemático	Funciones trigonométrica  Coordenadas de ubicación.	Observación de trayectorias

	específico, con relación a otros tres puntos de referencia, conociendo la distancia que hay del punto específico a cada uno de los otros puntos			Análisis matemático.
<b>Red de sensores inalámbricos.</b>	Son dispositivos autónomos que funcionan con baterías, se basa en una serie de pequeños dispositivos electrónicos que tiene acceso al mundo exterior por medio de sensores	Tecnología	Reconocimiento de señales a través de sensores.  Conectividad a través de un protocolo de comunicación	Datos través de sensores.  Recolección de datos de distancia.
<b>Posicionamiento</b>	Situación o lugar en el que se encuentra una persona, animal o cosa.	Ubicación	Coordenadas de posición.  Distancia entre los nodos sensores	Observación de la interfaz en la PC

*Fuente: Autor.*

## 2.7. Procedimientos

Para efectuar el desarrollo de este proyecto se realizara una seria de procesos que serán necesarios para cumplir los objetivos planteados.

- Conocer los inconvenientes de los familiares o personas responsables de los adultos mayores para conocer el lugar específico en el que se encuentra.
- Diseñar un sistema de localización de personas adultas mayores.
- Seleccionar los elementos electrónicos que tengan las características necesarias para realizar el proyecto.
- Desarrollar el software de triangulación para conocer la posición del tag (sensor móvil).
- Colocar un dispositivo para la comunicación inalámbrica entre el tag y la PC para el envío de datos.
- Realizar el software en MatLab para visualizar la posición de la persona adulta.
- Realizar pruebas del prototipo en distintos escenarios.

Introducción a Radino DW1000

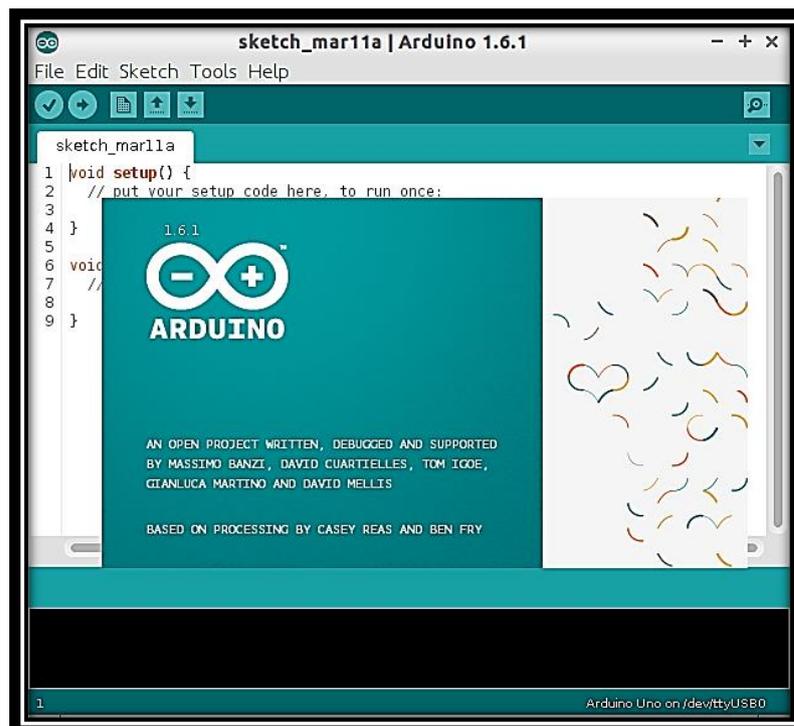


Figura 27. Software de Programación  
Fuente: Arduino

El pack de Radino spider DW1000 son un conjunto de módulos UWB que permite realizar distintos proyectos, para empezar a utilizar los módulos se debe conectar de forma USB para instalar el paquete de driver.

Se procede a Instalar Arduino versión 1.6.1 tal como muestra la Figura 27, ya que esta versión del software posee los controladores para el microchip STM32L151 que posee el DW1000 como controlador.

Una vez instalado el Arduino 1.6.1. , se debe descargar el controlador COM virtual para el STM32L151 de la página que se muestra en la Figura 28.

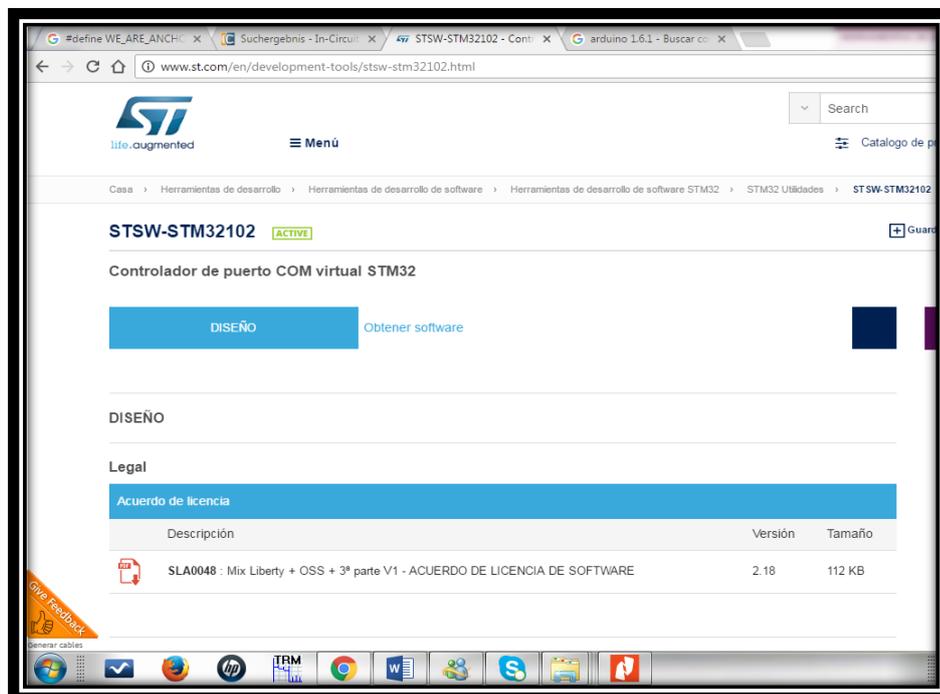


Figura 28. Página web

Fuente: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l151-152.html?querycriteria=productId=LN962>

Se instala las librerías para Radino spider dw1000.

Después de descargarlos se dirige a la dirección C:\Users\User\Documents\Arduino de la PC y se pega los archivos hardware y libraries para que de esa manera en el programa de Arduino reconozca cualquier tarjeta Radino y se pueda escoger en el programa tal como se ve en la Figura 29.

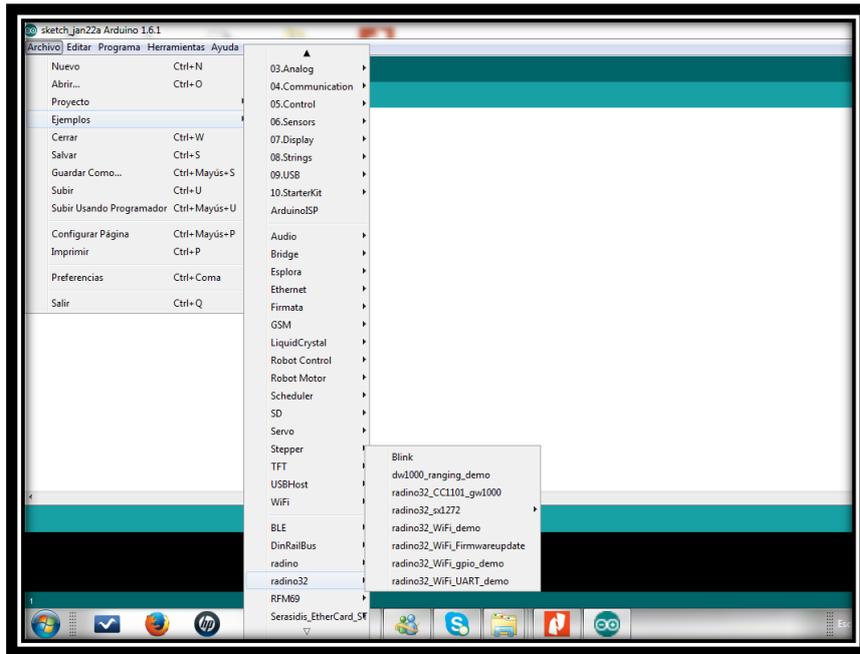


Figura 29. Librerías Radino  
Fuente: Autor

Después de instalar las librerías se procede a instalar los driver del Radino para que pueda crear un puerto COM para utilizar las funciones del Radino 32 DW1000. Se instala el programa Virtual COM Port Driver.

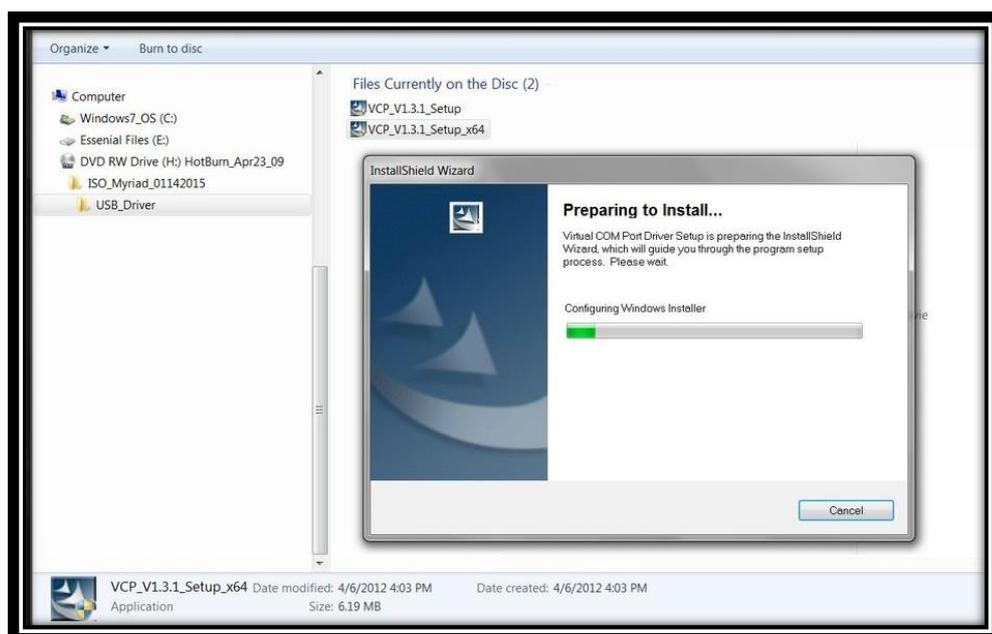


Figura 30. Software para el reconocimiento de componentes Radino  
Fuente: Autor

Al finalizar la instalación conectar el Radino 32 DW1000 a la PC tal como está en la Figura 31.

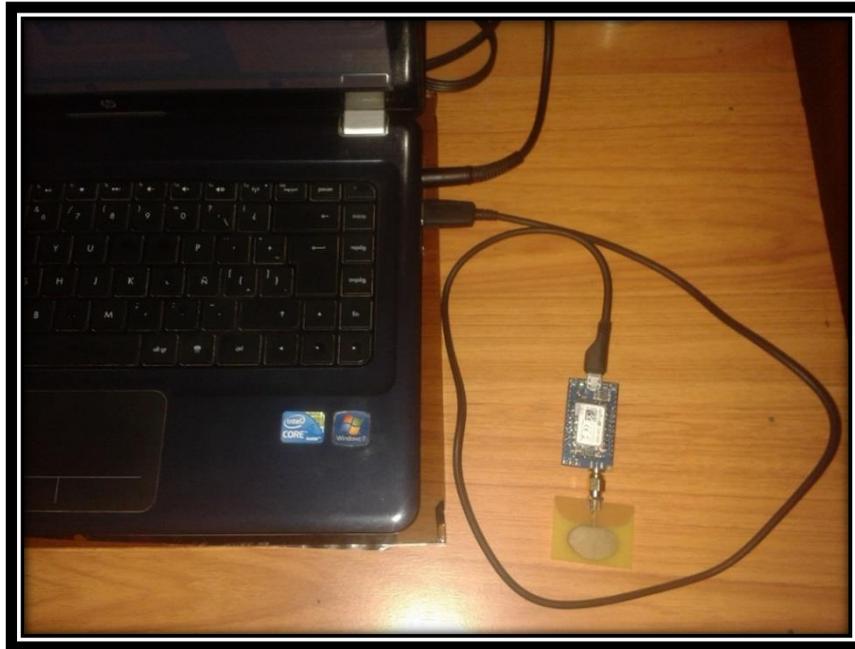


Figura 31. Conexión del Radino a la PC  
Fuente: Autor

El programa que fue instalado generará un puerto COM para el Radino tal como se observa en la Figura 32, de esa manera se podrá grabar el programa en él,

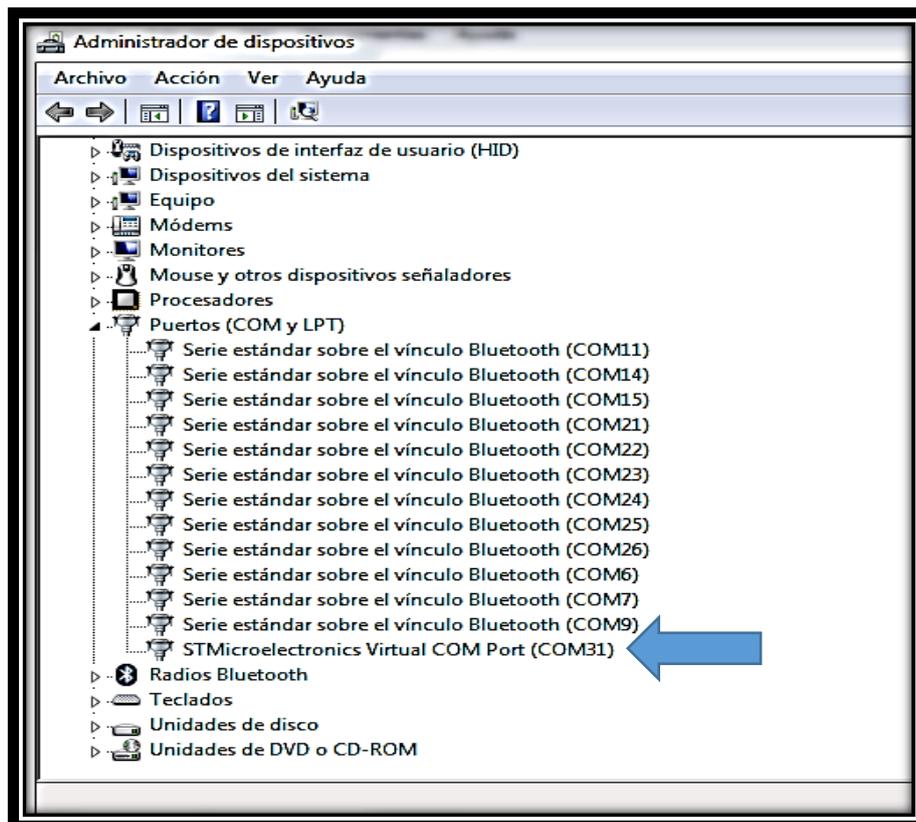


Figura 32. Puerto creado por el Radino Spider  
Fuente: Autor

## Diagrama de conexiones

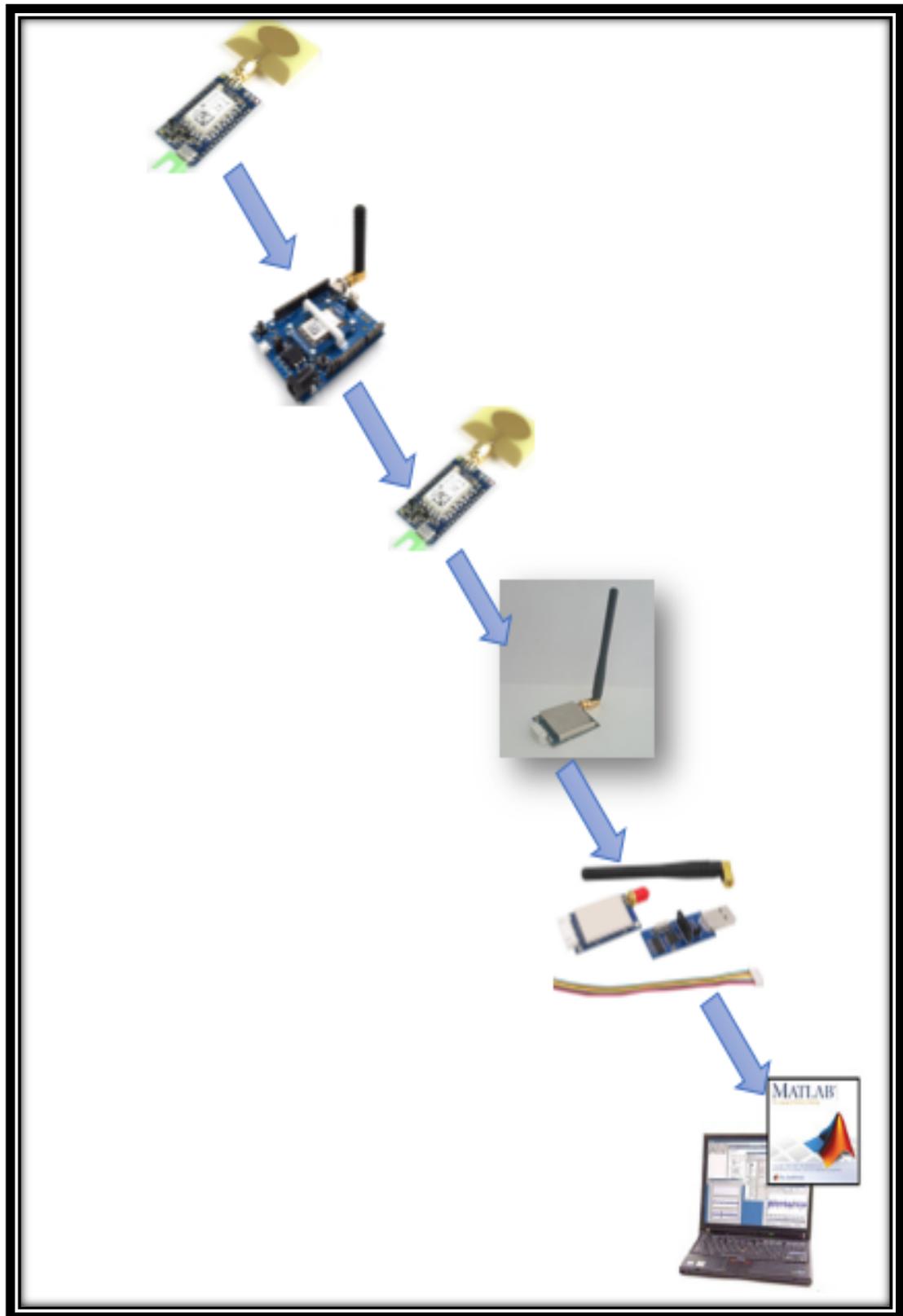


Figura 33. Diagrama de funcionamiento.  
Fuente: Autor

## 2.8. Procesamiento y análisis

### 2.8.1. Falta de supervisión y localización de los adultos mayores.

Los familiares o personas responsables del cuidado de las personas mayores presentan problemas al no conocer la posición en la que se encuentran y no poder atenderlas para conocer su estado de salud o físico.

### 2.8.2. Selección de componentes electrónicos para el desarrollo del sistema.

Después de conocer los inconvenientes para la localización de personas adultas se diseñó el siguiente sistema para solucionarlo.

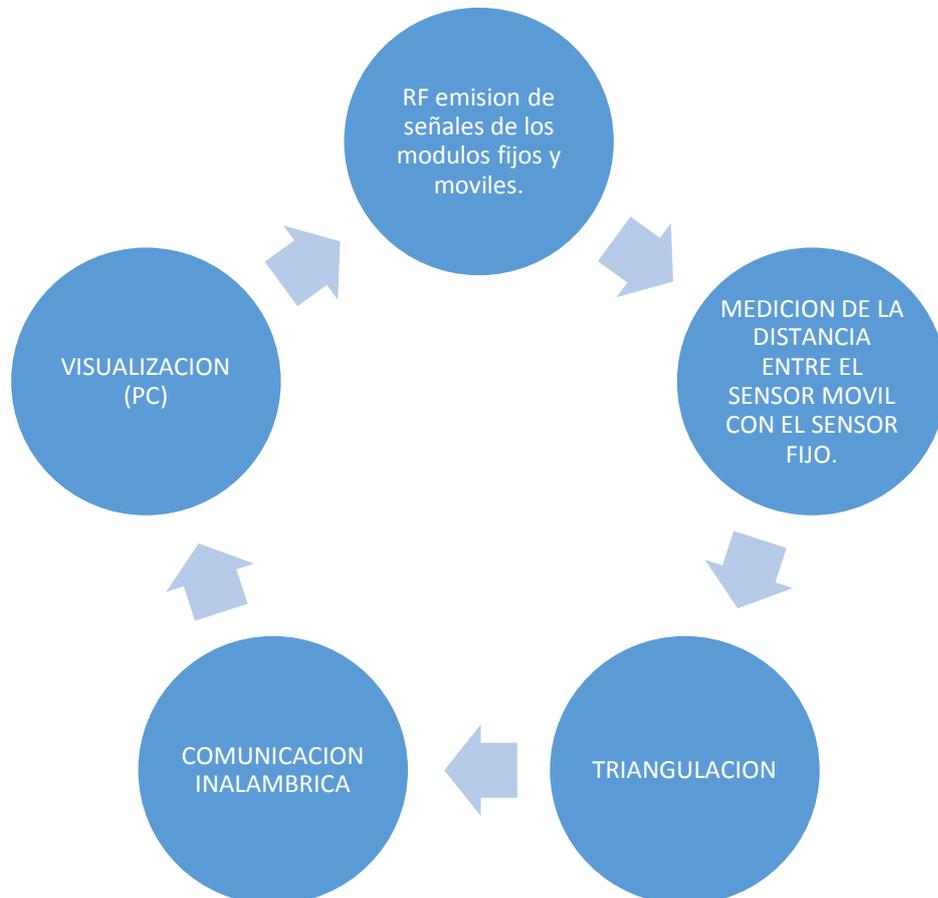


Figura 34. Organigrama para el proyecto.  
Fuente: Autor.

### **2.8.3. Selección de dispositivos electrónicos para la implementación del proyecto.**

Para el desarrollo del proyecto se seleccionó los módulos Radino que constan de Radino spider, antena plana, Radino Leonardo, que poseen un chip DW1000 que una de sus funciones es la localización de elementos compatibles y poder establecer una medida de distancia entre ellos.

### **2.8.4. Desarrollo software de medición de distancias en los módulos.**

La medición para el DW1000 en el radino32 DW1000 . La demostración de rango dw1000 en módulos radino32 DW1000 está optimizada para Radino spider con antena de banda ultra ancha. Para la comunicación son 3 anclas y un Tag.

**Algoritmo de programación para el desarrollo del prototipo de localización.**  
Diagrama para los 3 ANCHOR y para 1 TAG

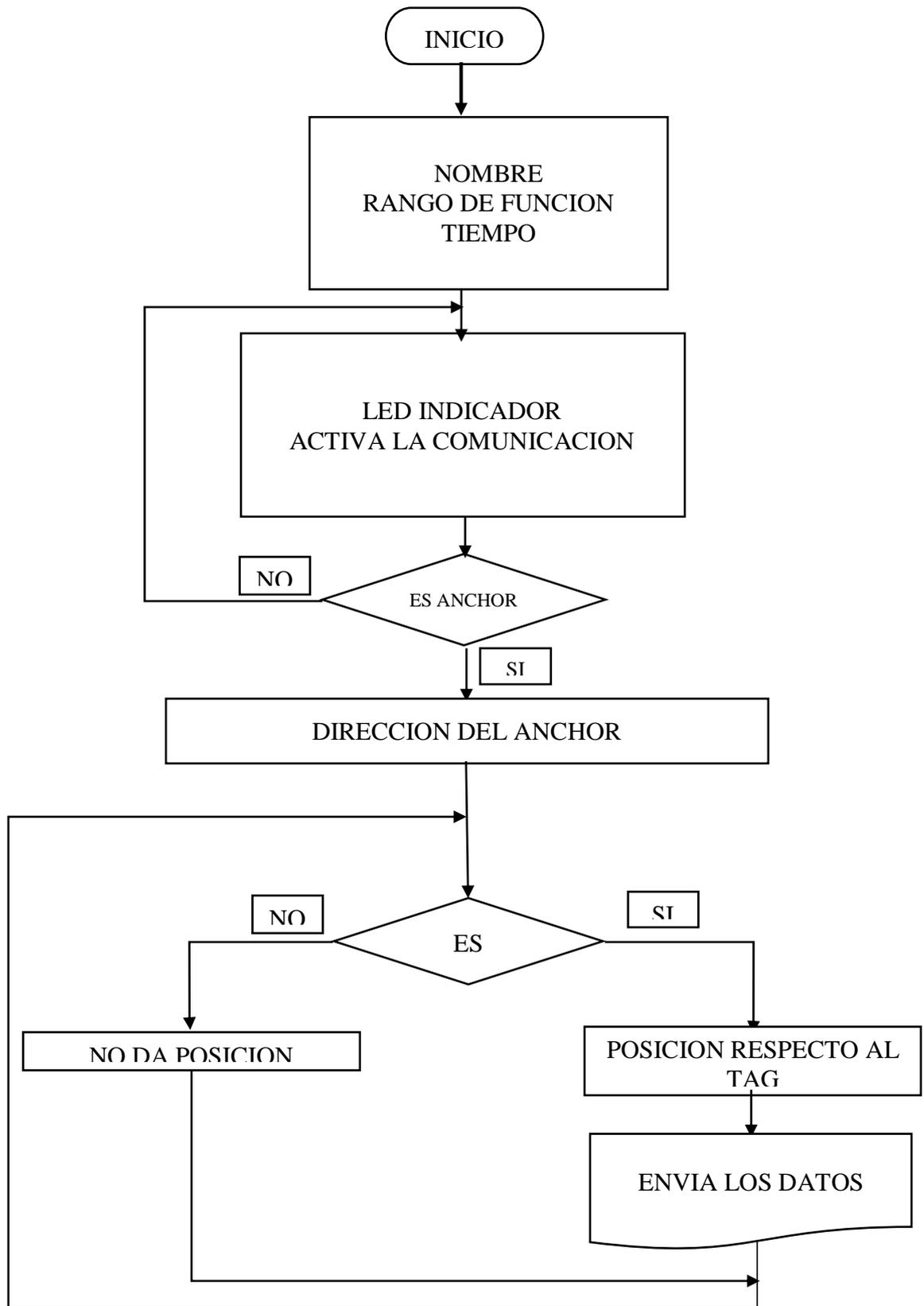


Figura.35. Diagrama de flujo para la programación del Anchor.  
Fuente: Autor

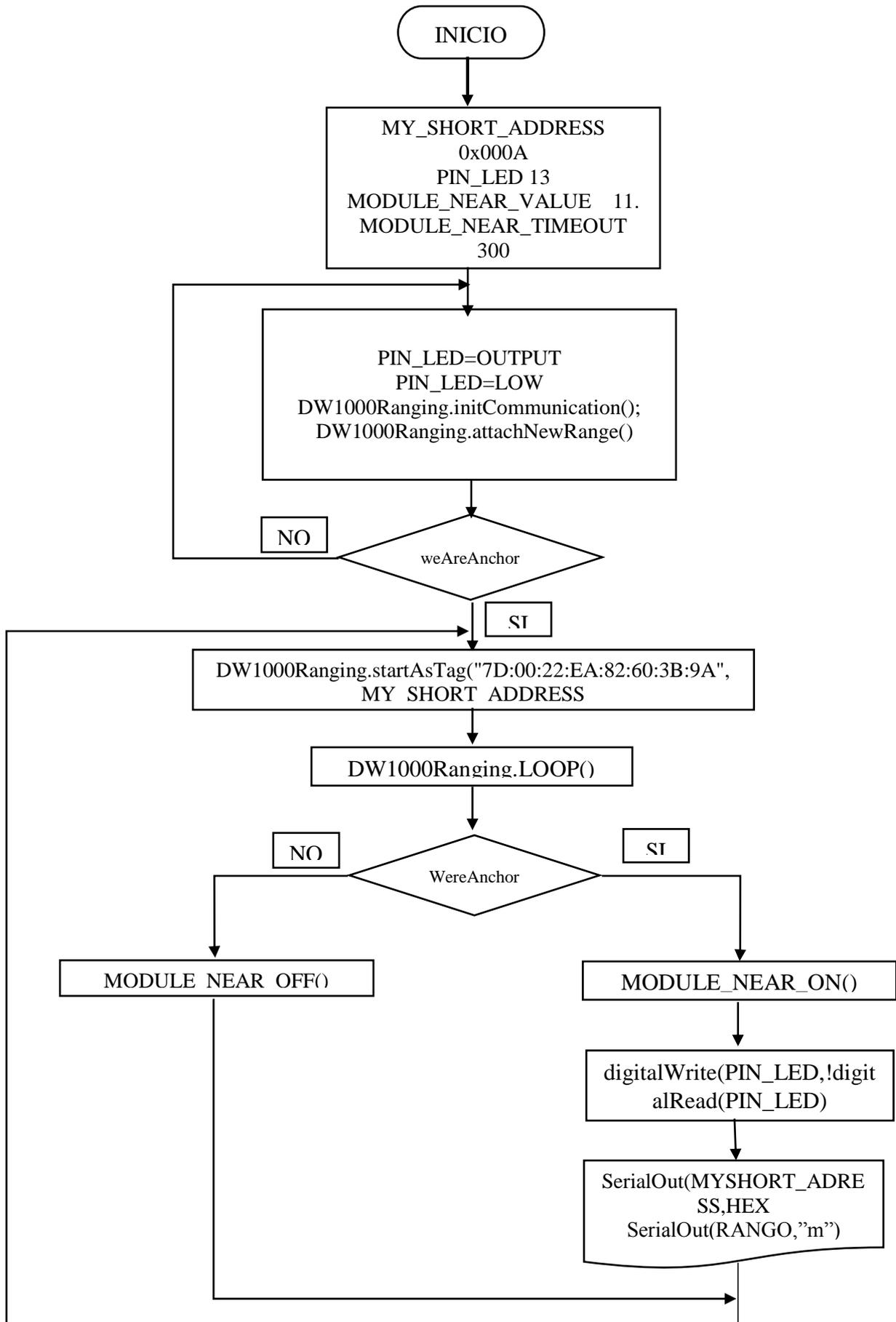


Figura 36. Programación del algoritmo del Anchor  
Fuente; Autor

### Diagrama de programación para el TAG

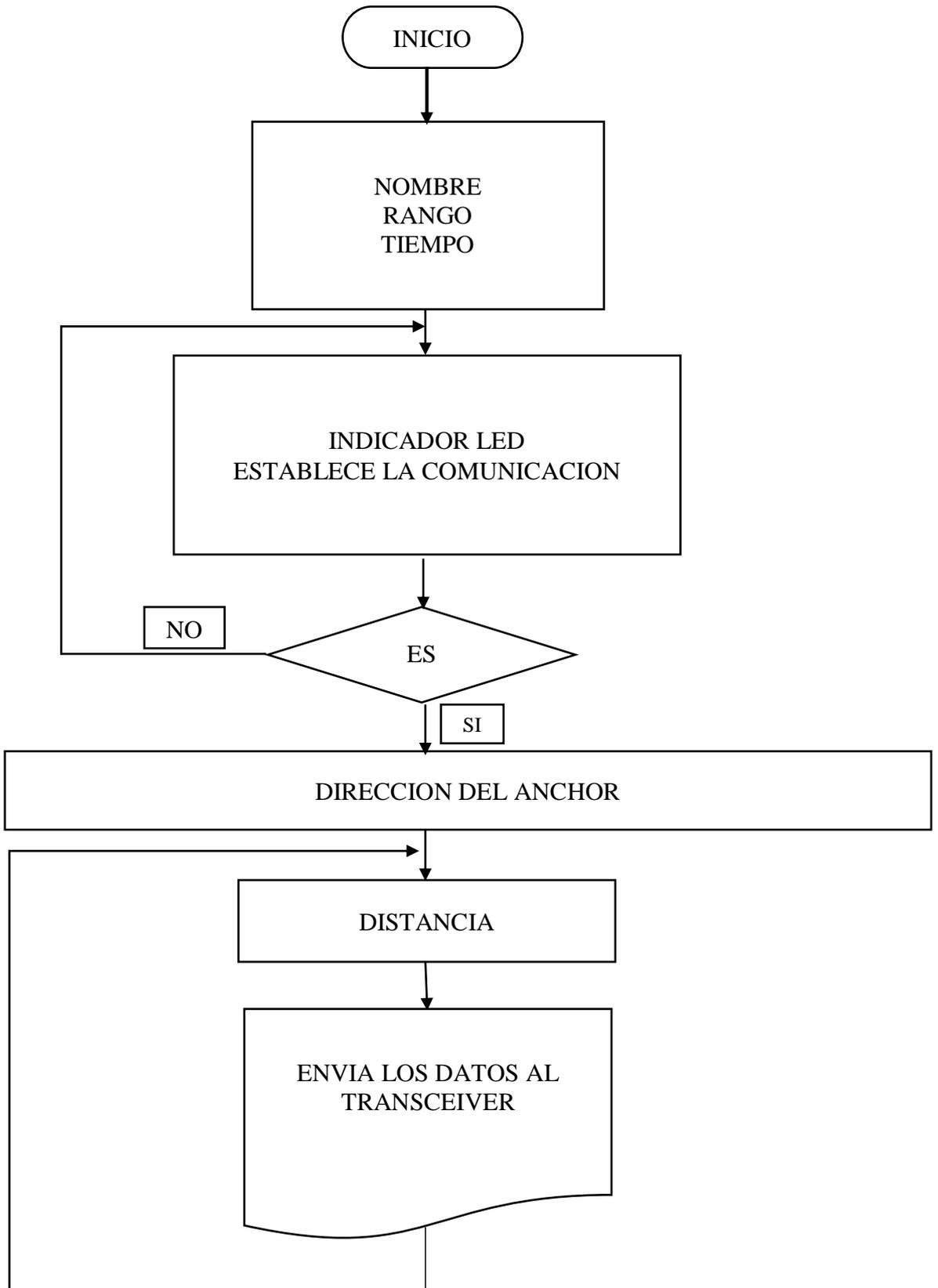


Figura 37. Diagrama de flujo para la programación del Tag.  
Fuente: Autor

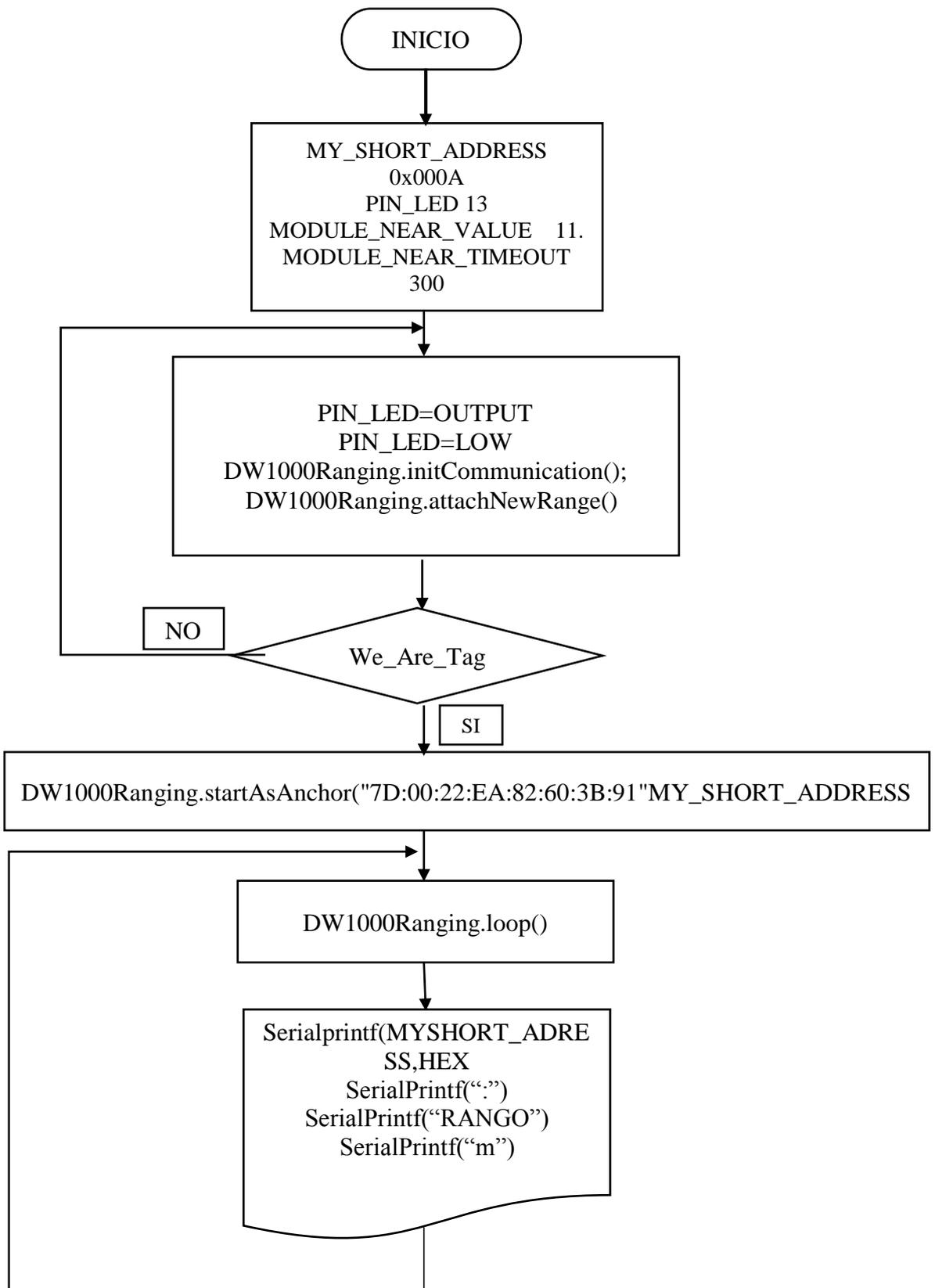


Figura 38. Diagrama de flujo de la programación del Tag.  
Fuente: Autor

Para comenzar la elaboración del programa se mencionaran las instrucciones más importantes para el funcionamiento de los dispositivos.

- ✓ Ajusta a 1 para el Anchor y a la entrada de lectura del pin (PIN\_READMODE) ajustando la lectura modo TAG (pull-up interno)

```
#define WE_ARE_ANCHOR 1
```

```
#define PIN_READMODE A1
```

- ✓ Dirección corta utilizada para el direccionamiento de paquetes del Anchor.

```
#define MY_SHORT_ADDRESS 0x000A
```

- ✓ Dónde imprimir información por el puerto serial.

```
#define SerialOut si (Serial) Serial
```

```
#define SerialOutBegin () Serial.begin ()
```

- ✓ Aquí puede configurar acciones para ejecutar cuando una TAG se acerca a una ANCLA. (MODULE\_NEAR\_VALUE) en metros y (MODULE\_NEAR\_TIMEOUT) en milisegundos.

```
#define MODULE_NEAR_VALUE 11.0
```

```
#define MODULE_NEAR_TIMEOUT 300
```

- ✓ Aquí busca e identifica los Anchor y lee el dato enviado.

```
#if WE_ARE_ANCHOR == 2
```

```
WeAreAnchor =! Digital Read (PIN_READMODE);
```

```
#else
```

```
WeAreAnchor = (WE_ARE_ANCHOR == 1);
```

```
#endif
```

- ✓ Instrucción para la comunicación entre los Anchor y Tag

```
DW1000Ranking.initCommunication ();  
DW1000Ranging.attachNewRange (newRange);
```

- ✓ Identifica la dirección del Tag y Anchor para su intercambio de datos.

```
if (weAreAnchor) {  
  DW1000Ranging.startAsTag("7D:00:22:EA:82:60:3B:9A",  
  DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1, MY_SHORT_ADDRESS);  
  } else {  
  
  DW1000Ranging.startAsAnchor("7D:00:22:EA:82:60:3B:9A",  
  DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1, MY_SHORT_ADDRESS  
  }  
}
```

- ✓ La potencia de transmisión definida por el chip.

```
#if def DW_TX_POWER  
  DW1000.setManualTxPower(DW_TX_POWER);  
#endif
```

Para el Tag la programación será similar con la diferencia que se lo programara como Tag y enviará todos los datos recolectados por los Anchor, y a la vez enviará por el Pin Tx al transceiver.

Se utilizará las siguientes instrucciones y modificaciones.

- ✓ Se los programa con 0 como Tag a diferencia con 1 para Anchor.

```
#define WE_ARE_ANCHOR 0  
#define PIN_READMODE A1
```

- ✓ Envía los datos recolectados

```
if(digitalRead(13)){  
    Serial1.println("D:1");  
}else{  
    Serial1.println("D:2\n");  
}
```

### 2.8.5. Implementación de un dispositivo para la comunicación inalámbrica entre el tag y la PC para el envío de datos.

Para esta función se conectarán dos módulos SV651 para el intercambio de datos. Se procede a instalar los drivers del RS232 para que funcione adecuadamente.

### 2.8.6. Software en MatLab para visualizar la posición de la persona adulta.

Para una mejor visualización y procesamiento de los datos obtenidos de los módulos se realiza un programa en GUIDE con las siguientes instrucciones.

- ✓ Esto activará el puerto en el que está conectado el transceiver, el cual recibe todos los datos del sensor móvil y la velocidad de transmisión. `puerto = serial('COM37', 'BaudRate', 9600);`
- ✓ Aquí se detalla las dimensiones de él área en donde se ubicara la persona mayor adulta, ayuda al programa a crear una superficie de trabajo en función de las distancias, serán ingresadas como coordenadas de un plano cartesiano para poder graficar en MatLab, y colocadas tal como muestra la Figura 38.

```
x1=?; y1=?; %PUNTO A  
x2=?; y2=?; %PUNTO B  
x3=?; y3=?; %PUNTO C
```

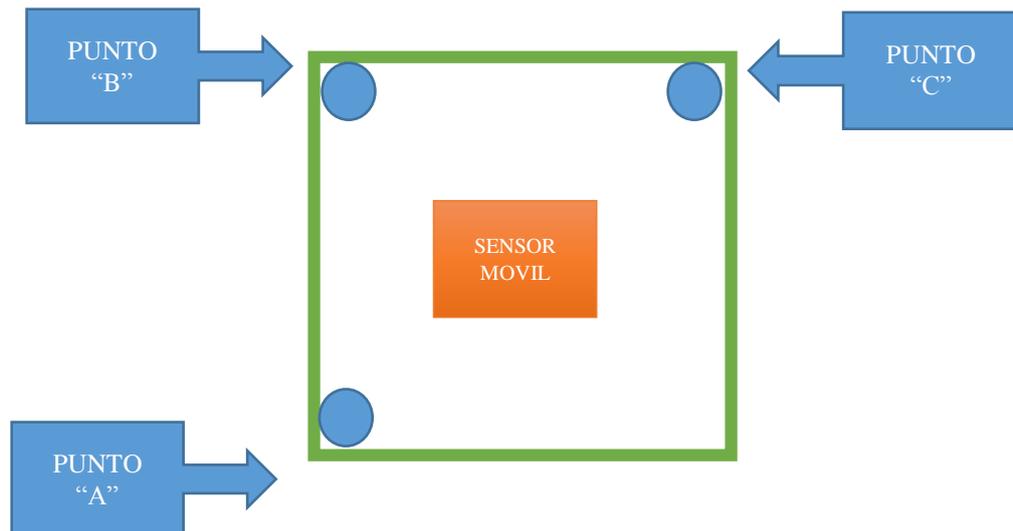


Figura 39. Ubicación de módulos.  
Fuente: Autor

- ✓ Variables para que se active el estado de “AYUDA” cuando el giroscopio envía un carácter “1” en ayuda y un carácter “2” en modo normal.

```
AL1='AYUDA';
```

```
AL2='  ';
```

- ✓ Permite recoger los datos recibidos por el puerto serial y guarda como caracteres, esta función va a hacer realizada para cada dato de los 3 módulos.

```
if(aux?==0)
```

```
    a1= fread(puerto,1,'uchar');%captura los ":" puntos
```

```
        for j=1:4
```

```
            K? = [K3 fread(puerto,1,'uchar')];
```

```
        end;
```

- ✓ En estas líneas de programación los datos guardados como caracteres son transformados a números y guardados en otras variables para luego poder operarlas en el algoritmo de triangulación.

```
if (aux?==1)
```

```
    K?= char(K?);
```

```
    d?= str2num(K?);
```

```
    set(handles.radio?,'String',d?);
```

- ✓ Cálculo de puntos en donde se intersecan las zonas de cobertura de las antenas y conocer las posibles posiciones, ya que el radio de las zonas varían o no se intersecan en un mismo punto tal como se ve en la Figura 40 y poder realizar los cálculos pertinentes con las formulas de la Figura 39.

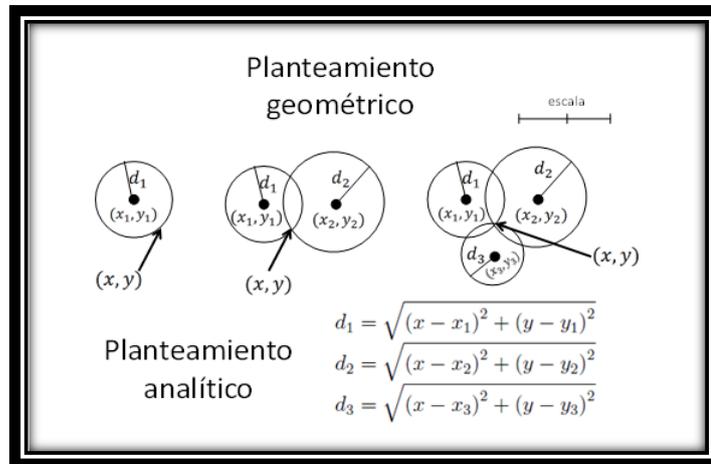


Figura 40. Ecuación de las circunferencias.

Fuente: <https://soloformulas.com/circunferencias-ortogonales.html>.

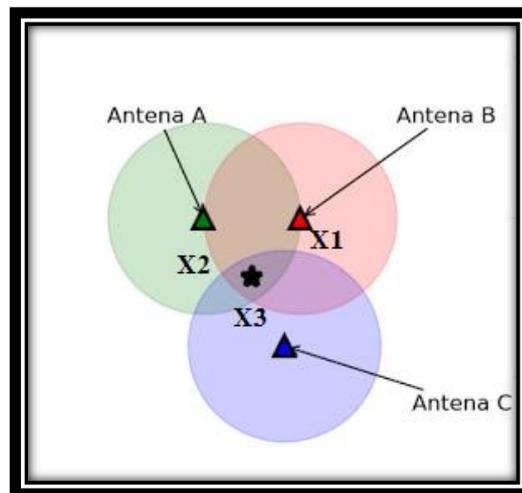


Figura 41. Zonas de cobertura de las antenas.

Fuente: Autor

- ✓ Proceso de visualización de los nodos fijos en sus respectivas posiciones y visualización del nodo móvil con los datos procesados por el algoritmo de triangulación.

%GRAFICACION

```
axis([-6 6 -6 6]);      Área del gráfico
plot(x1,y1,'*b');      Sensor Fijo A
plot(x2,y2,'*r');      Sensor Fijo B
```

plot(x3,y3,'\*g');            Sensor Fijo C  
plot(xx,yy,'om');           Sensor móvil

- Realizar pruebas del prototipo.
  - ✓ En primer lugar se inicia el programa en MatLab, luego pulsar “CONECTAR PUERTO” para activar el ingreso de los datos a través el puerto serial.
  
  - ✓ Pulsar el botón “LOCALIZAR” para empezar a posicionar los módulos fijos y comience a procesar los datos y generar la posición del módulo móvil.
  
  - ✓ Funcionamiento del prototipo de posicionamiento en interiores.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Prueba funcionamiento de los módulos para conocer la distancia entre ellos.

Después de realizar las pruebas con los módulos inalámbricos Radino Spider DW1000 y Radino Leonardo, donde cada uno de ellos irradian una señal para poder ser detectados por el sensor móvil, para luego procesar esa información y poder calcular la distancias en que se encuentran uno del otro.

#### 3.2. Prueba del envío de datos de distancias de los módulos fijos hacia el módulo móvil

- Prueba del módulo fijo “A” con el módulo móvil

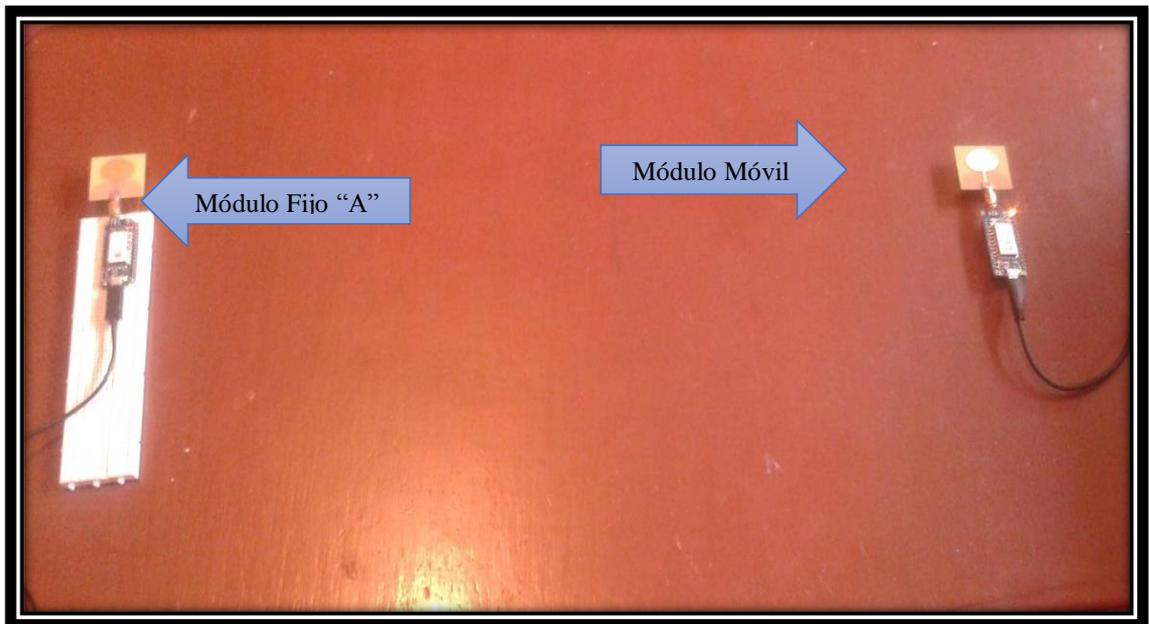


Figura 42. Sensor A con el sensor móvil.  
Fuente: Autor

Se obtiene la comunicación entre ellos tal como se ve en la Figura 41, y para conocer los datos recibidos desde el sensor A se utiliza la herramienta Puerto Serial

del software de programación Arduino y se obtiene los siguientes datos que se muestran en la Figura 42 y en la Figura 43.

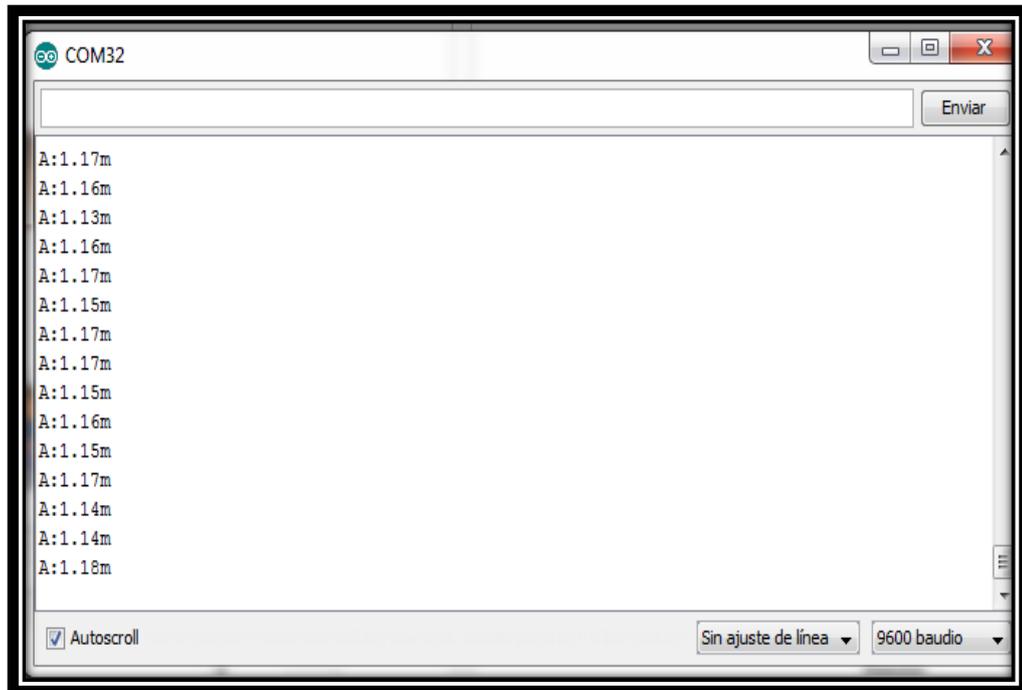


Figura 43. Lectura de datos en Arduino.  
Fuente: Autor

### Pruebas de envío de datos de medición con el puerto serial de mikroC PRO

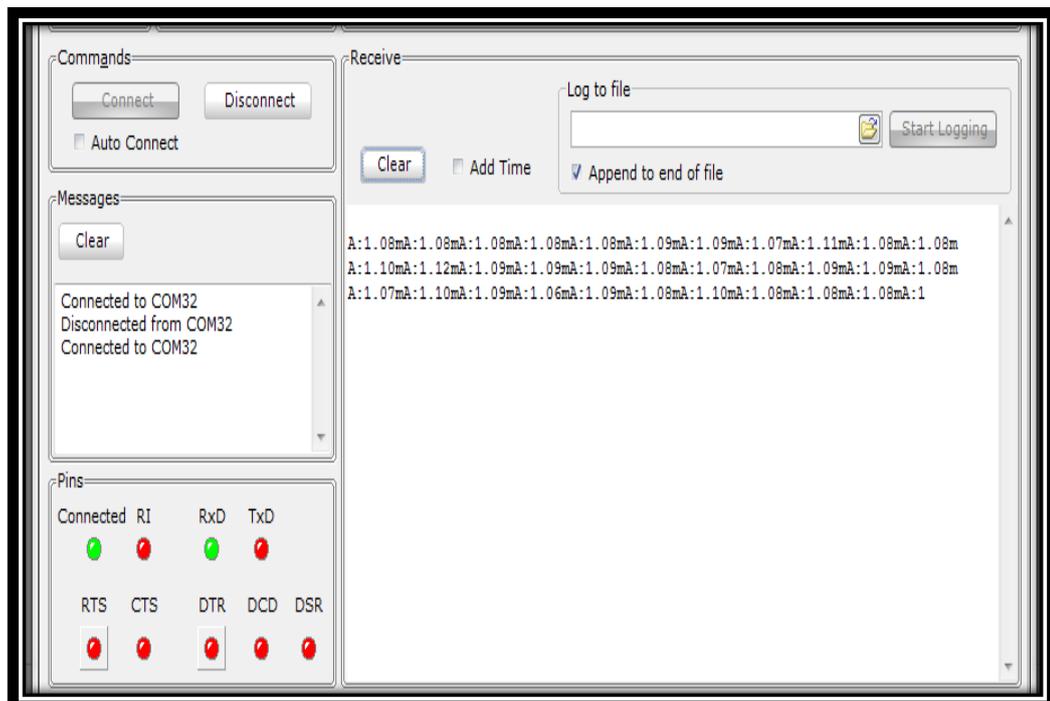


Figura 44. Visualización de datos a través de mikroC  
Fuente: Autor

- Prueba del módulo fijo “B” con el módulo móvil tal como se ve en la Figura 44, con los datos recibidos en el programa Arduino tal como se observa en la Figura 45.



Figura 45. Funcionamiento del sensor B con el móvil.  
Fuente: Autor

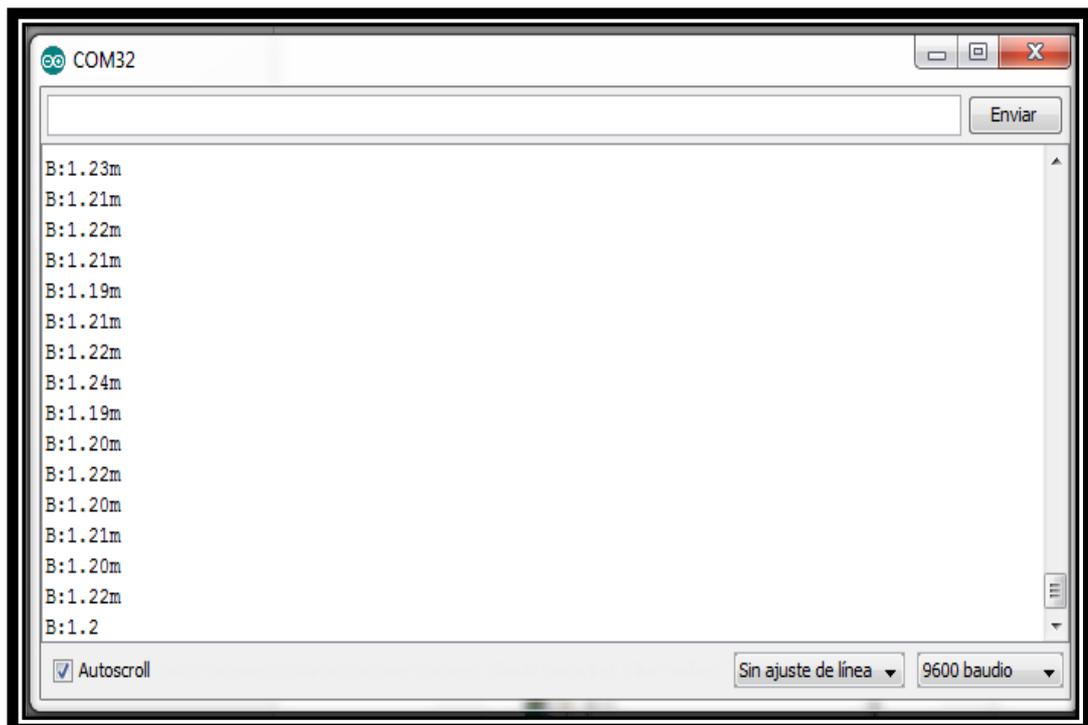


Figura 46. Visualización de datos por Arduino  
Fuente. Autor





Figura 49. Visualización de datos a través de Arduino.  
Fuente: Autor

- Pruebas de medición entre los 3 módulos fijos y el módulo móvil alineados de forma uniforme tal como se observa en la Figura 49.

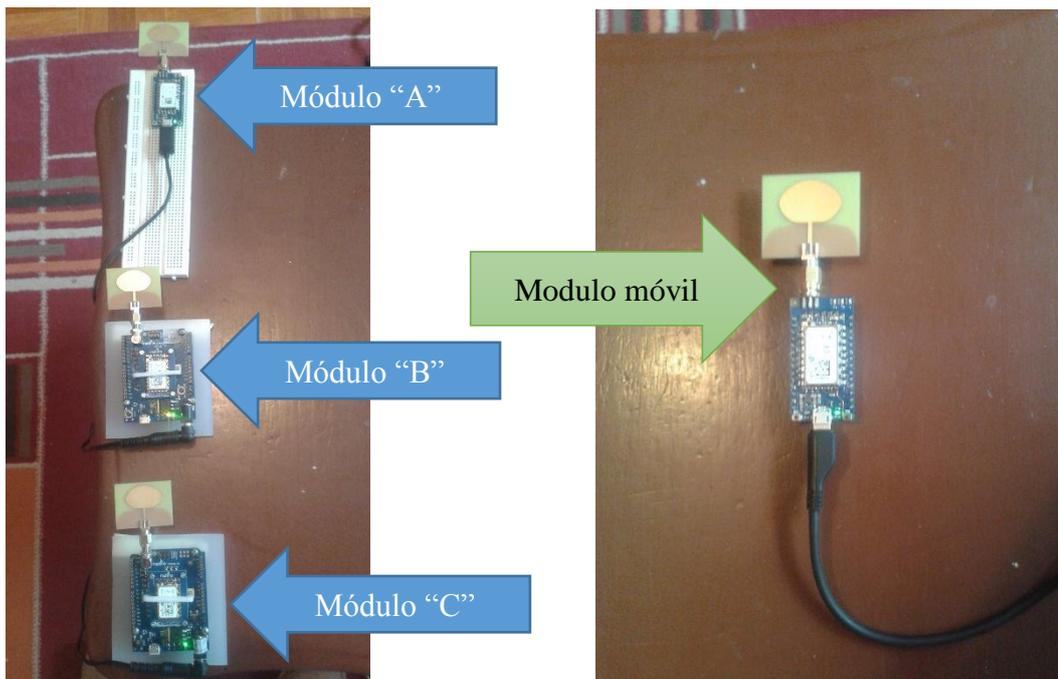


Figura 50. Funcionamiento de los 3 sensores fijos con el sensor móvil  
Fuente: Autor

Datos enviados por todos los módulos fijos hacia el modulo móvil al programa Arduino tal como se muestra en la Figura 50.

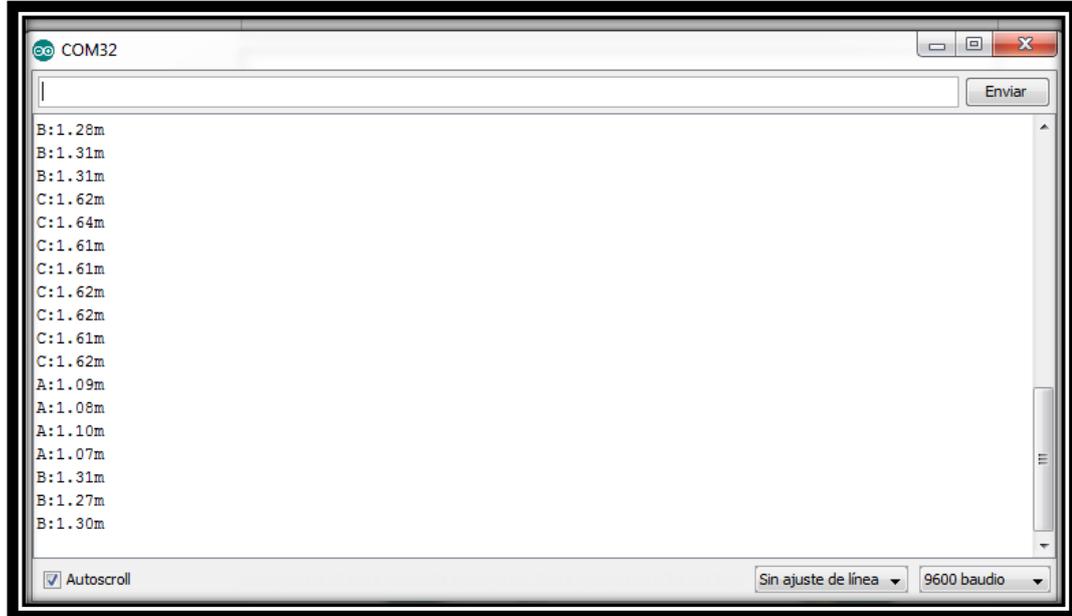


Figura 51. Datos visualizados a través de Arduino.  
Fuente: Autor

Datos observados en el puerto seria de mikroC tal como se muestra en la Figura 51.

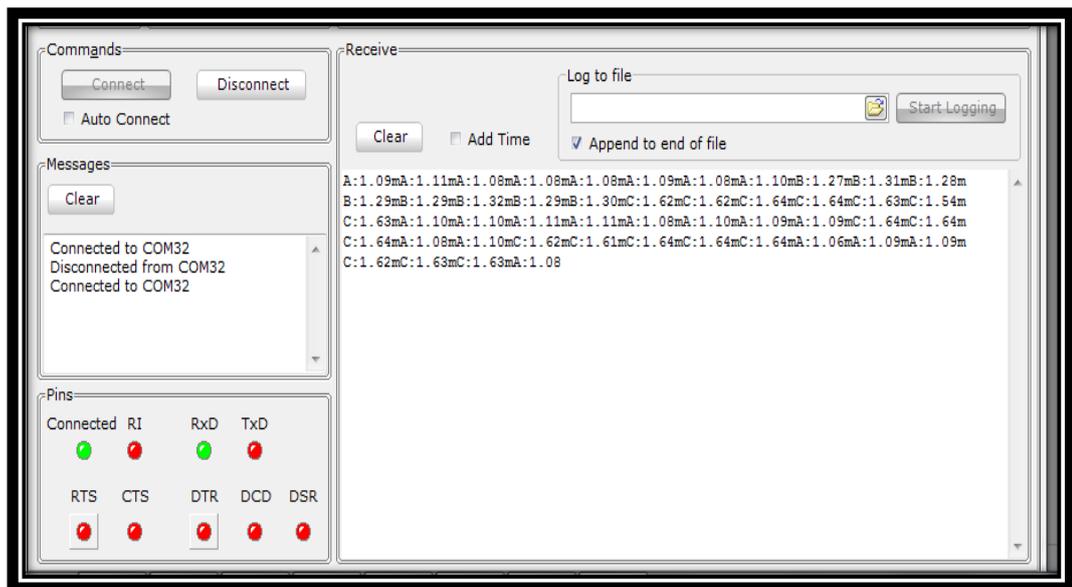


Figura 52. Visualización de datos a través de mikroC  
Fuente: Autor

### 3.3.Resultado de la prueba del sistema de localización de personas adultas mayores.

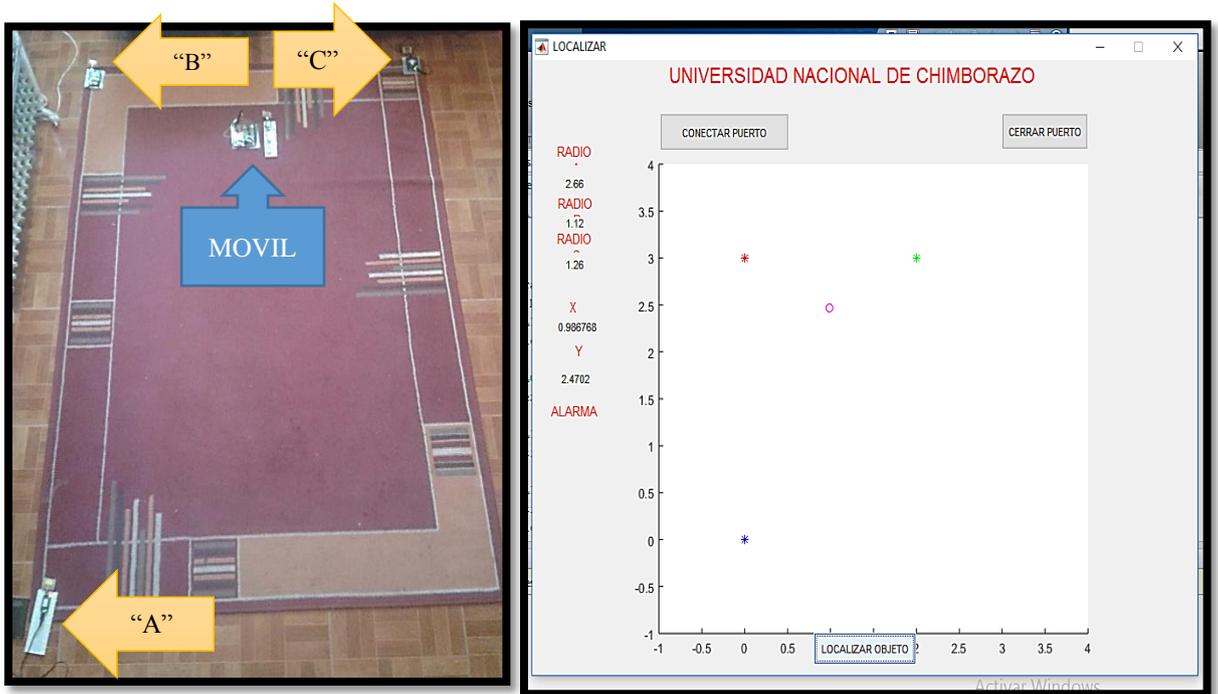


Figura 53. Prueba con el sensor móvil en la parte superior.  
Fuente. Autor

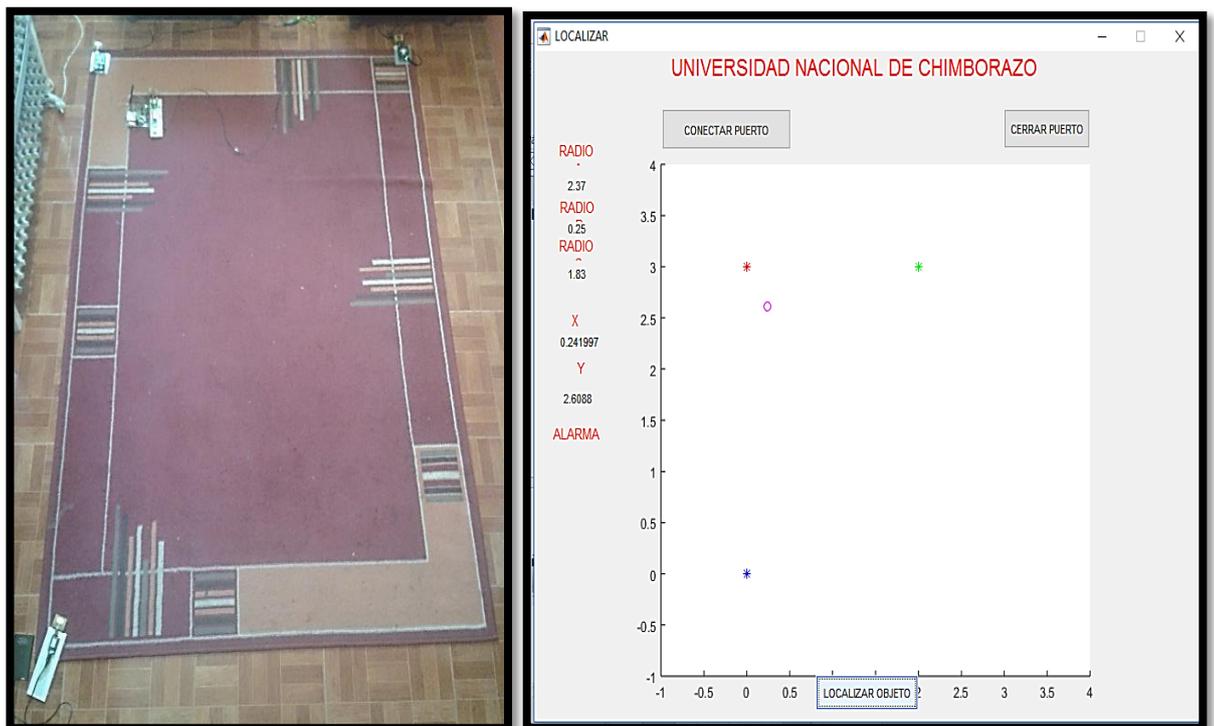


Figura 54. Prueba con el sensor móvil en la parte superior izquierda.  
Fuente: Autor



Figura 55. Prueba con el sensor móvil en la parte superior derecha.  
Fuente: Autor

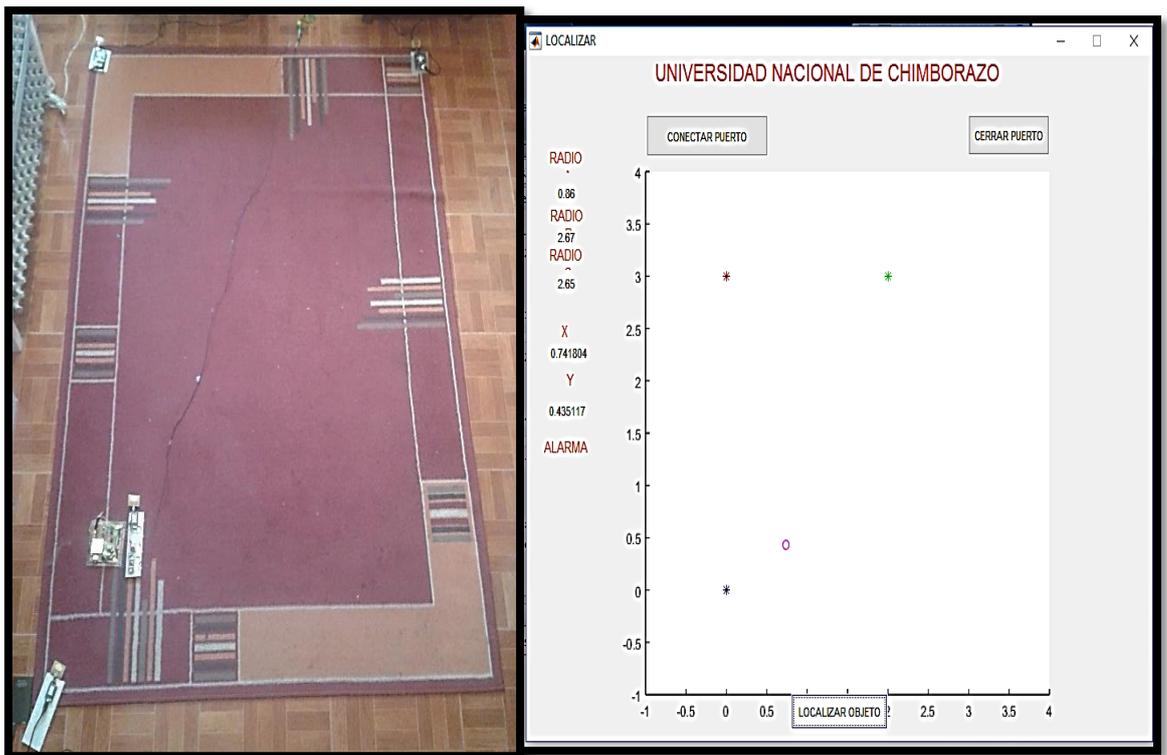


Figura 56. Prueba con el sensor móvil en la parte inferior izquierda.  
Fuente: Autor

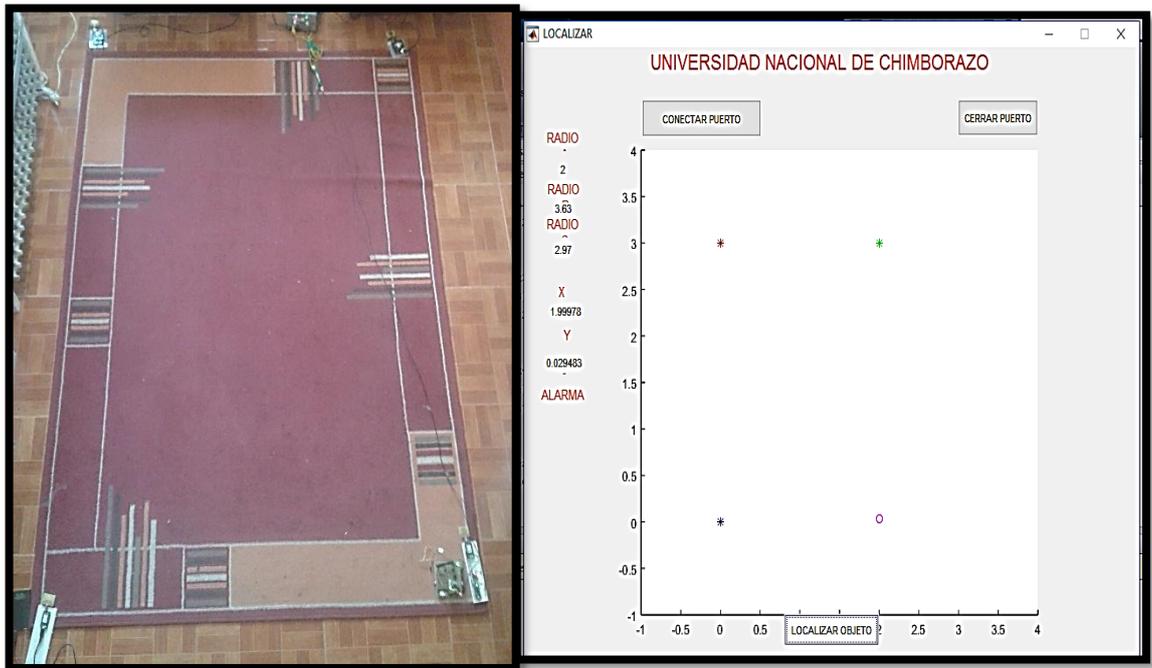


Figura 57. Prueba con el sensor móvil en la parte inferior derecha en la parte donde no existe un sensor fijo.  
Fuente: Autor

### Pruebas del sistema de movimientos bruscos o caídas.

En estado normal el led azul permanece apagado tal como se muestra en la Figura 57, esto significa que el adulto mayor no sufrió ningún movimiento brusco o caída.

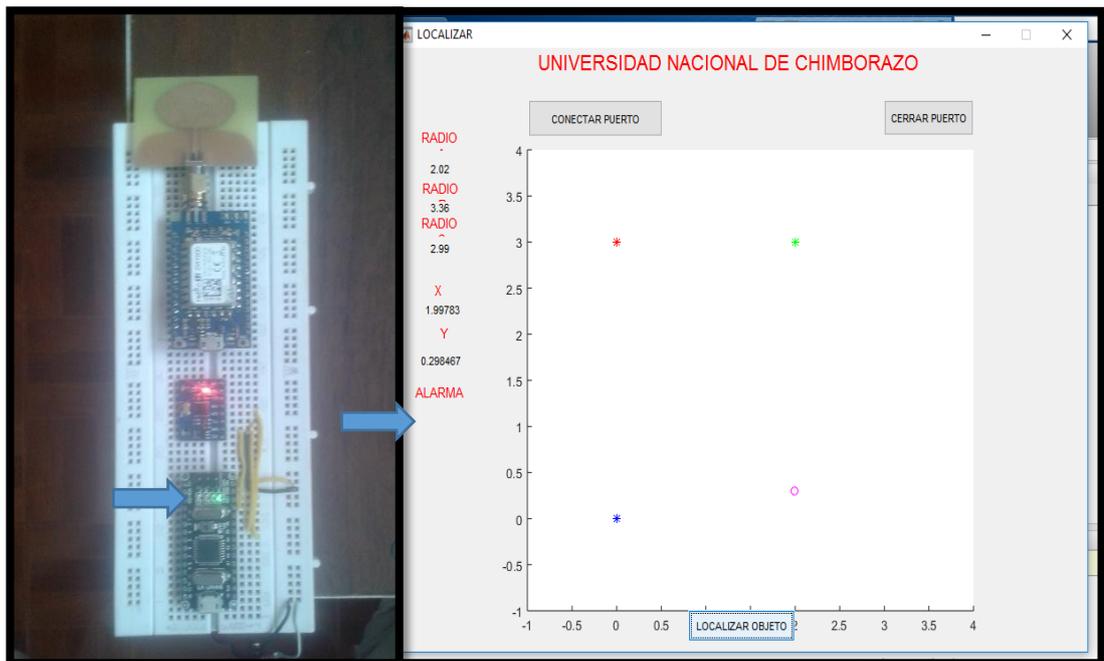


Figura 58. Prueba en estado normal del adulto mayor.  
Fuente: Autor.

El led azul encendido del Arduino nano tal como se observa en la Figura 58, muestra el cambio de estado del giroscopio que significa que el adulto mayor tuvo una caída.

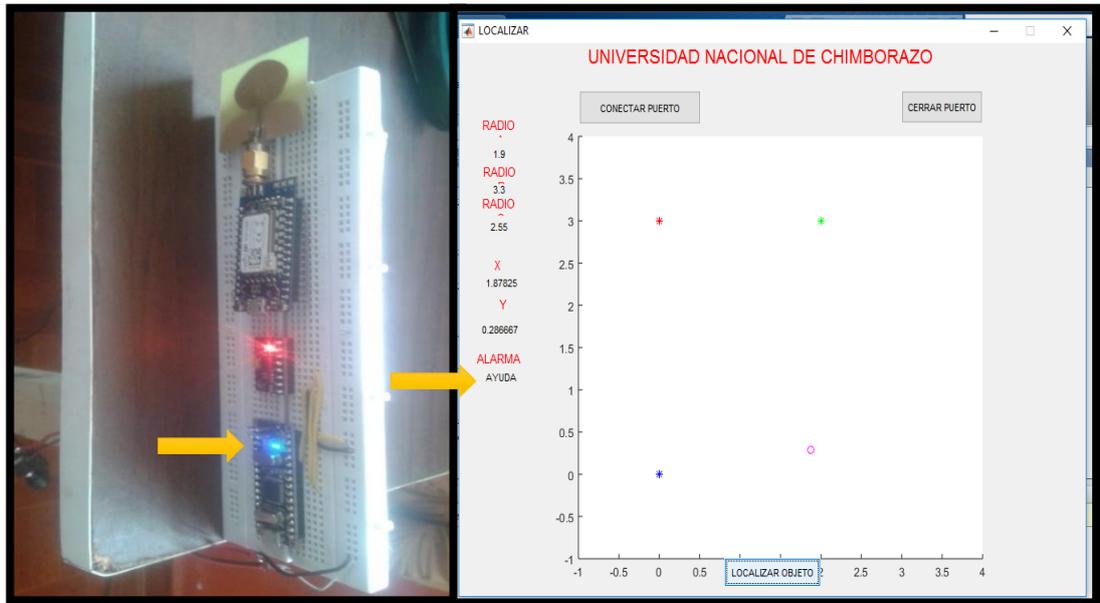


Figura 59. Estado de caída del adulto mayor.

Fuente. Autor

Prueba del prototipo mostrando la trayectoria en la que se mueve un adulto mayor que posee el modulo móvil, la prueba se basa en observar la alerta de asistencia con la palabra “AYUDA“, haciendo como referencia el último punto de la trayectoria que se ve en la Figura 59.

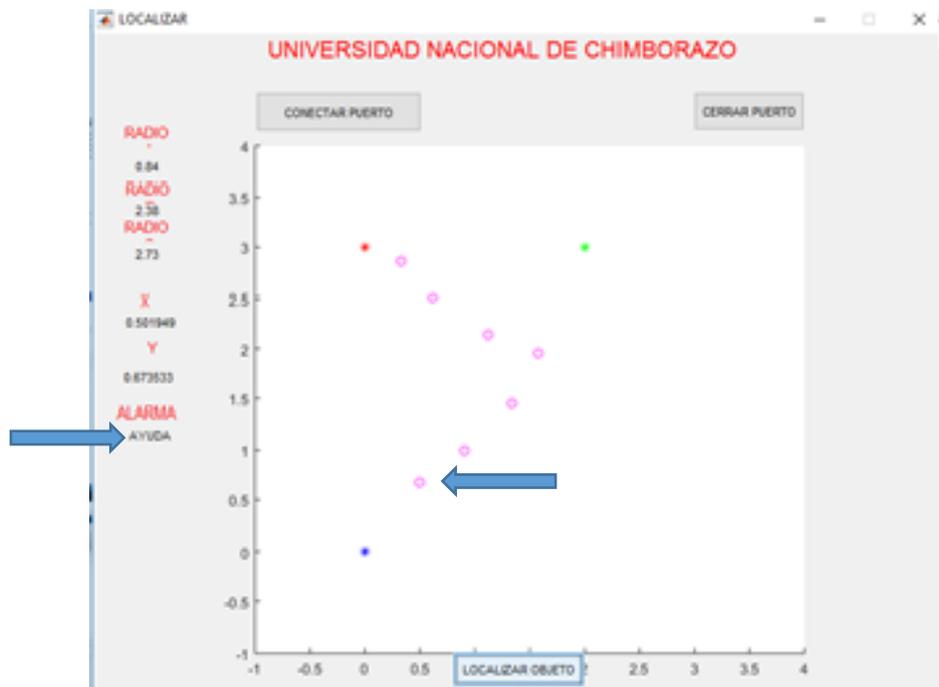


Figura 60. Alerta de ayuda.

Fuente: Autor.

### 3.4. Comprobación de hipótesis.

Prueba del prototipo recorriendo una trayectoria que se muestra en la Figura 60.

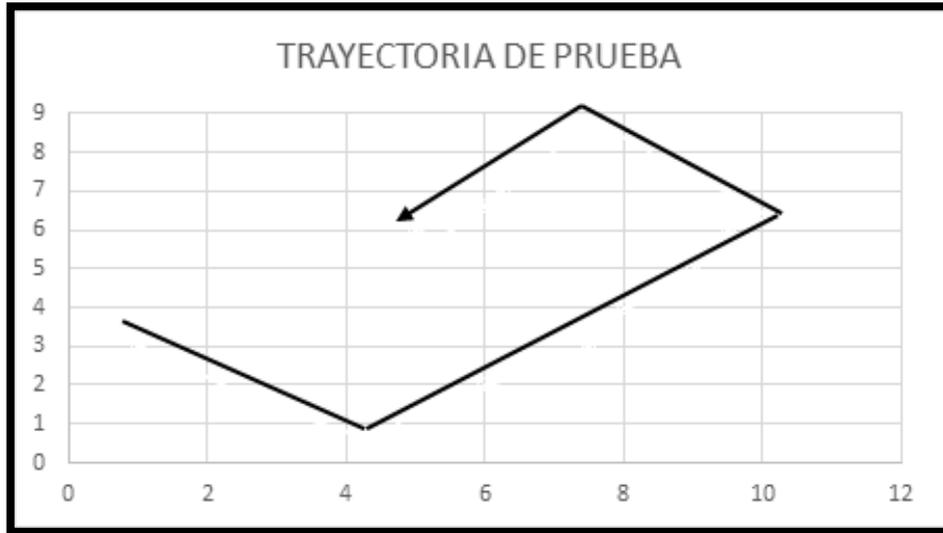


Figura 61. Trayectoria fijada.  
Fuente: Autor

Se obtuvo la siguiente gráfica tal como se ve en la Figura 61, como resultado del funcionamiento del prototipo.

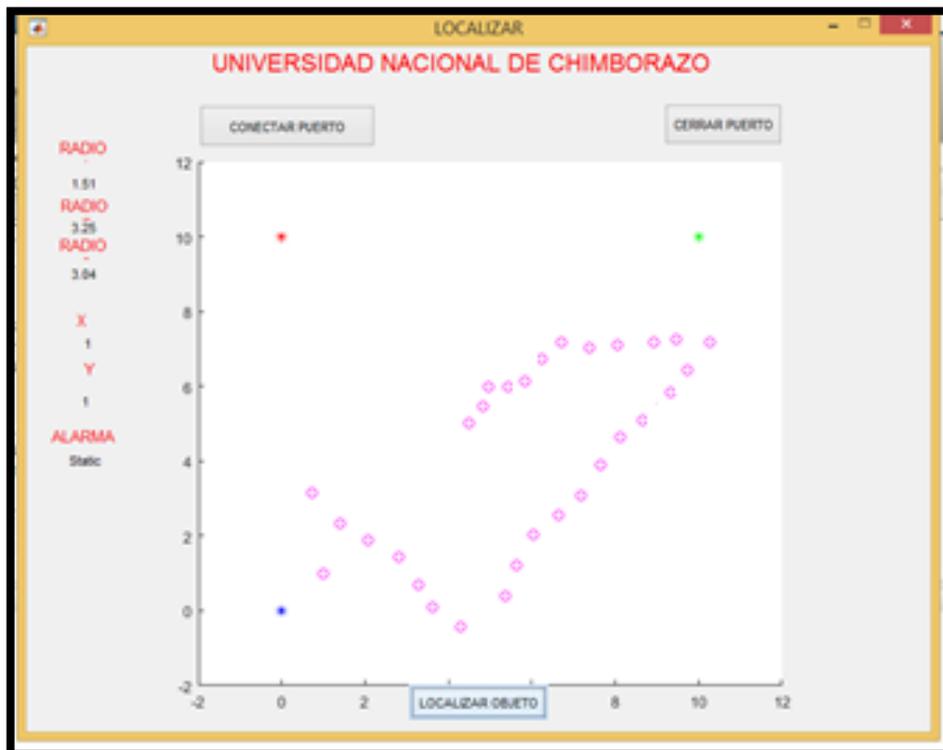


Figura 62. Trayectoria generada por el prototipo:  
Fuente: Autor.

Se realiza una relación entre las medidas de la trayectoria trazada con los datos procesados por el prototipo después de recorrer la trayectoria, los datos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos medidos y calculados por el prototipo.

DATOS MEDIDOS DE LA TRAYECTORIA TRAZADA.			DATOS GENERADOS POR EL PROTOTIPO DE LOCALIZACION.	
Num de Puntos.	Coordenadas en "X"(m).	Coordenadas en "Y" (m).	Coordenadas en "X"(m).	Coordenadas en "Y" (m).
1°	1	3,25	1	3,3
2°	1	3	1,22	3
3°	1,5	2,7	1,53	2,95
4°	1,8	2,4	2	2,5
5°	2,5	1,8	2,76	1,9
6°	3,25	1,25	3,5	1,5
7°	4,5	0,5	4,5	0,7
8°	5	1,5	5	1,5
9°	5,5	1,5	5,54	1,7
10°	6	2	6	2,02
11°	7	2,5	7,09	2,41
12°	7,5	3	7,52	3,09
13°	8	4	8,2	4,2
14°	8,5	4,3	8,61	4,41
15°	9	5	9,07	5,12
16°	9,1	5,3	9,25	5,44
17°	9,5	5,8	9,57	5,87
18°	9,5	6	9,64	6,11
19°	10,1	6,35	10,21	6,45
20°	9,5	7	9,55	7,02
21°	8,5	7,5	8,71	7,54
22°	8,3	8,3	8,29	8,33
23°	7,5	8,5	7,65	8,3
24°	7,1	8,3	7,07	8,19
25°	6,8	7,5	6,71	7,62
26°	6,5	7,3	6,54	7,25
27°	6,25	7	6,32	7,12
28°	6	6,6	6,11	6,72
29°	5,9	6,6	5,81	6,52

Fuente: Autor.

La prueba T-Student ayuda a procesar los valores de forma estadística, ya que este método analiza datos teóricos con datos obtenidos a través de un experimento lo hace el método idóneo para procesar los datos medidos y los datos calculados por el prototipo.

Análisis estadístico entre los valores medidos de “X” y los valores calculados de “X” por el prototipo, tal como se observa en la Tabla 3 y Tabla 4.

La prueba se lo realiza con un 95% de confiabilidad, eso quiere decir que se trabaja con un nivel de significancia de 0,05.

## Prueba T

*Tabla 3. Muestra de T-Student. Para las coordenadas “X”  
Fuente: Autor.*

### Estadísticas de muestra única

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coord. Medidas en “X”.	29	6,2966	2,74047	,50889
Coord. Calculadas en “X”.	29	6,3783	2,73045	,50703

*Tabla 4. Resultados estadísticos de las coordenadas “X”.  
Fuente: Autor.*

### Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 10					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Coord. Medidas en “X”.	-7,277	28	,000	-3,70345	-4,7459	-2,6610
Coord. Calculadas en “X”.	-7,143	28	,000	-3,62172	-4,6603	-2,5831

## Decisión y justificación

Como  $-7,277 < 1.701$  se rechaza  $H_0$  y se concluye, al tener un nivel de significancia del 0.05, que los valores de error medidos por el prototipo de medición tiene un error menor al 10% en las coordenadas “X” en las pruebas de campo.

Análisis estadístico entre los valores medidos de “Y” y los valores calculados de “Y” por el prototipo tal como se muestra en la Tabla 5 y en la Tabla 6.

## Prueba T

Tabla 5. Muestra de T-Student. Para las coordenadas “Y”  
Fuente: Autor.

### Estadísticas de muestra única

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coord. Medidas en “Y”.	29	4,7155	2,50036	,46431
Coord. Calculadas en “Y”.	29	4,7855	2,45240	,45540

Tabla 6. Resultados estadísticos de las coordenadas “Y”.  
Fuente: Autor.

### Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 10					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Coord. Medidas en “Y”.	-11,381	28	,000	-5,28448	-6,2356	-4,3334
Coord. Calculadas en “Y”.	-11,450	28	,000	-5,21448	-6,1473	-4,2816

## Decisión y justificación

Como  $-11,381 < 1.701$  se rechaza  $H_0$  y se concluye, al tener un nivel de significancia del 0.05, que los valores de error medidos por el prototipo de medición tiene un error menor al 10% en las coordenadas “Y” en las pruebas de campo.

Con los resultados estadístico de las coordenadas “X” y “Y” que tienen menos del 10% de errores en sus valores generados por el prototipo en una trayectoria determinada, estos datos demuestran que el sistema de localización sea confiable.

## CAPITULO IV

### 4. DISCUSIÓN

El sistema de sensores inalámbricos son usados en muchos campos en la actualidad, distribuidos geográficamente en un lugar concreto para cumplir una función determinada y se comunican entre ellos de forma inalámbrica dentro de su rango de cobertura, son utilizados en la medicina como en el monitores de signos vitales de pacientes, en la industria como en la supervisión de procesos de maquinaria, en la agricultura como control de medida de temperatura de los sembríos, y de esa manera optimizar el trabajo de la persona encargada de esos determinados procesos comerciales, y por qué no ese adelanto de la tecnología aplicarlos a las personas y hacer la vida más llevadera.

El sistema de localización de personas adultas mayores constituye una forma de control del desplazamiento de una persona adulta, debido que las personas encargadas de ese tipo de personas atienden a más de una de ellas o al mismo instante de tiempo realizan otras actividades.

Este sistema de localización le otorga al usuario la posibilidad de desplazarse en un ambiente en forma controlada, incluso este sistema posee la capacidad de reconocer los entornos en los que convive y sortear obstáculos a su alrededor.

El sistema también ayuda a saber el momento de que la persona adulta mayor sufre una caída o un desplazamiento brusco que pueda afectar a su integridad física, enviando una alerta hacia la PC que controla la persona encargada del cuidado de la persona.

Finalmente, imagínese una vida más fácil donde la tecnología pueda ayudar en el cuidado y localización de personas mayores adultas y que puedan desenvolverse fácilmente y que la persona responsable de su cuidado pueda monitorearlo de una manera más fácil gracias a la tecnología.

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

Una vez terminada la investigación se concluyó lo siguiente:

- El prototipo de localización provee al usuario adulto mayor la tranquilidad y la seguridad de sentirse supervisado y vigilado por una persona que pueda cuidar y controlar su bienestar.
- El prototipo realiza procesos de transmisión entre los módulos y a la vez envían datos a través de un sistema de transceiver hacia una interfaz de visualización instalada en la PC y de esa manera conocer la posición del usuario.
- Con una modificación en la programación y de aumento de número de módulos fijos y móviles se puede localizar a más de una persona en una mayor superficie de control.
- El sistema de localización es un conjunto de módulos y transceiver, de fácil manipulación y ensamblado, que puede ser manejado de manera sencilla e instalado en cualquier otro sitio de trabajo.
- El sistema de localización es un prototipo que posee menos del 10% de error en su datos, estos resultados hacen que se un sistema de localización confiable para el usuario.

#### **5.2. Recomendaciones**

Una vez realizadas las conclusiones del proyecto de investigación se proponen las siguientes recomendaciones.

- Busca dispositivos electrónicos de fácil y pronta adquisición.

- Ampliar el rango de localización del sistema para abarcar un área más grande y de esa manera el usuario pueda desplazarse con mayor libertad y de la misma manera sentirse controlado y protegido.
- Mejorar el sistema adhiriendo una gran variedad de módulos para conocer y controlar el estado de salud del adulto mayor.
- Mejorar el sistema de localización conectando a una red de internet para que la persona encargada del monitoreo pueda ser más de una, y a la vez visualizar la posición desde distintos ordenadores y dispositivos inteligentes.
- Implementar el prototipo haciéndolo resistente a caídas y reducir su tamaño para que las personas adultas puedan llevarlo en su cuerpo sin ningún molestia.

## CAPITULO VI

### 6. PROPUESTA

#### 6.1. Título de la propuesta

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TRIANGULACION POR RADIO FRECUENCIA EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVEZ DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS

#### 6.2. Introducción

En la vida la tecnología busca cada vez en sus cambios mejorar el estilo de vida de los seres humanos, facilitar procesos y situaciones de la vida cotidiana, una gran contribución es en el cuidado de adultos mayores que mejora su desempeño diario al sentirse libres al desplazarse en un determinado espacio y al no necesitar una persona que lo acompañe permanentemente para saber cuál es su posición.

Para las personas adultas mayores es difícil mantener una coordinación y orientación ya que pueden padecer de distintas enfermedades que afecten su memoria u orientación, además las personas que cuidan y controlan es difícil estar acompañándolos permanentemente a su lado por distintos motivos.

Una manera de facilitar estos tipos de cuidados hacia los adultos mayores es mediante la creación de y uso de un sistema de localización que le permita y facilite a la persona responsable del cuidado o familiares y mediante una interfaz observar los movimientos del usuario.

Un método para el desarrollo del sistema es mediante la colocación de una red de sensores inalámbricos fijos en las esquinas del área de localización y un sensor móvil colocado en el usuario, el sensor móvil triangula con los módulos fijos y a través de un sistema de transceiver enviara los datos del usuario a la PC, y a la vez la implementación de un sensor de velocidad angular que permitirá conocer alguna

caída o desplazamientos brusco de la de persona monitoreada que enviará una alerta la interfaz de visualización.

Mediante el programa MatLab se podrá crear una interfaz que simule el área de desplazamiento y graficara la posición del adulto mayor.

### **6.3.Objetivos**

#### **6.3.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de triangulación por radio frecuencia en espacios cerrado para el monitoreo y alerta de adultos mayores a través de una red de sensores inalámbricos

#### **6.3.2. Objetivos Específicos**

- Conocer los distintos tipos de sensores inalámbricos.
- Seleccionar el componente electrónico adecuado para el proyecto.
- Programar el código para el funcionamiento de los sensores inalámbricos.
- Investigar los distintos tipos de sensores de velocidad angular o acelerómetros y su programación.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrica para la transferencia de datos sensor móvil-PC.
- Desarrollar una interfaz gráfica para observar la posición.

### **6.4.Fundamentación Científico –Técnica**

El sistema para la localización de personas adultas mediante módulos inalámbricos Radino es una nueva forma de triangular para localizar un objetivo.

Este sistema es para la ayuda del monitoreo y cuidado de los usuarios permitiéndole desplazarse con seguridad en un ambiente controlado.

### **6.5.Descripción de la propuesta**

Este proyecto tiene como propósito localizar a un adulto mayor en una superficie determinada mediante módulos fijos colocados en las esquinas del área de localización, además otro modulo móvil que estará adherido al adulto mayor.

Mediante el modulo móvil los demás fijos podrán transmitir y recibir datos de medida, de esa manera puedan interactuar entre sí para triangular la posición del sensor móvil, y un giroscopio para conocer si la persona sufre una caída para poder asistirlo inmediatamente, los datos de triangulación y de auxilio serán enviados por un sistema de transceiver a una PC.

A través de del software MatLab se recibirá los datos, después de distintos procesos matemáticos creara una interfaz gráfica que simulara el área de localización para colocar la posición de los módulos fijos y el módulo móvil y a la vez la posición del adulto mayor.

### 6.6.Diseño Organizacional.

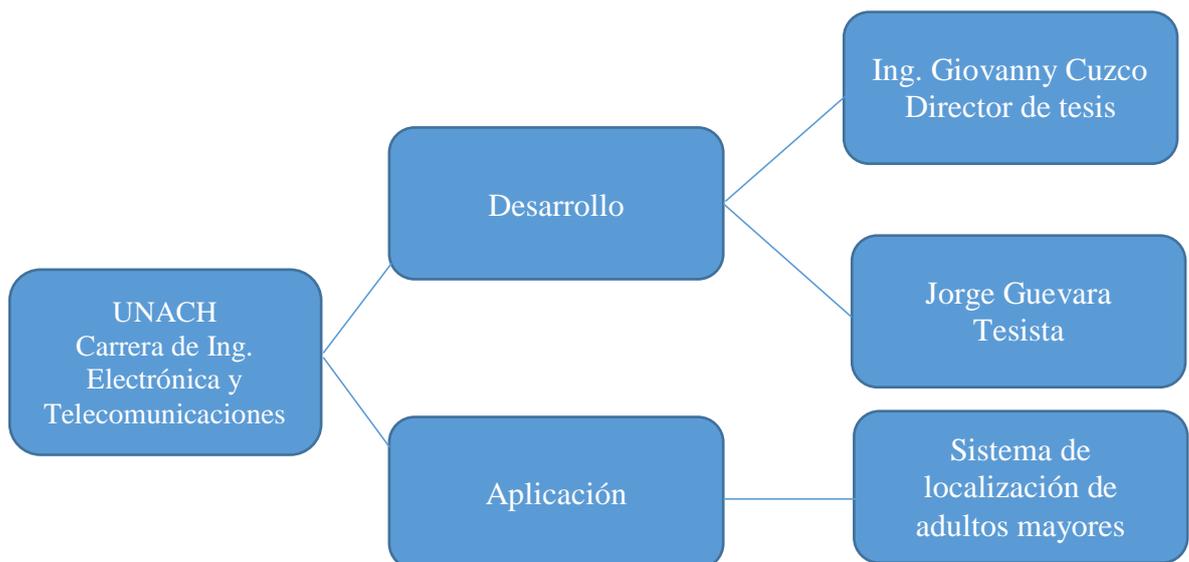


Figura. 63. Diseño Organizacional para el desarrollo del proyecto.  
Fuente: Autor.

### 6.7.Monitoreo y Evaluación de la propuesta

La evaluación de la propuesta se realizara sometiendo al sistema a pruebas con

Personas para así determinar si el uso de este sistema de ayuda es útil.

El impacto que produce el desarrollo del sistema de localización de adultos mayores es de gran impacto al lograr monitorear el desplazamiento y posición del usuario.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Air-Fi*. (2015). Obtenido de <http://www.air-fi.es/sistemas-de-localizacion-en-tiempo-real-rtls/>
- Carlos, A. A. (2009). *Sistema de Localización de Dispositivos Móviles Basada en Wireless LAN*. Madrid.
- Carlos, A. A. (2009). *Sistema de Localización de Dispositivos Móviles Basada en Wireless LAN*. Madrid.
- Díaz, I. (14 de Junio de 2010). *Electrónica Estudio*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com/rfestudio.htm>
- Díaz, I. J. (14 de Junio de 2010). *Eletrónica Estudio*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com/rfestudio.htm>
- EKAHUA. (2016). *ARISTAFLOW AMERICANS*. Obtenido de <http://www.ekahau.com/userData/ekahau/documents/solution-brochures/Ekahau-RFID-over-WiFi-RTLS-Solutions.pdf>
- IN-CIRCUIT*. (s.f.). Obtenido de [http://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=171](http://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=171)
- IN-CIRCUIT*. (17 de Mayo de 2014). Obtenido de [http://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?cPath=22\\_28&products\\_id=35](http://shop.in-circuit.de/product_info.php?cPath=22_28&products_id=35)
- IN-CIRCUIT*. (30 de ABRIL de 2014). Obtenido de [http://shop.in-circuit.de/product\\_info.php?products\\_id=187](http://shop.in-circuit.de/product_info.php?products_id=187)
- Legarretaetxebarria, A. (2011). *Sistema de localización y seguimiento de personas en interiores mediante cámara PTZ basado en las tecnologías Kinect y Ubisense*. Lejona, España.
- NATIONAL INSTRUMENT*. (22 de Abril de 2009). Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>
- Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, N. y. (21 de JUNIO de 2013). *GPS.GOV*. Obtenido de <http://www.gps.gov/spanish.php>
- Pancorbo, J. (2003). *DETECCIÓN RADAR*. Cataluña, España.
- Polo, E. M. (2008). *Técnicas de Localización en*. Castilla, España.
- Polo, E. M. (2012). *Técnicas de Localización en Redes Inalámbricas de Sensores*. Castilla, España.
- Prade, R. M. (2009). *SISTEMA DE LOCALIZACIÓN PARA REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES MEDIANTE ZIGBEE*. Castellón de la Plana.
- RUGELES, J. d. (2012). *Técnicas de localización de nodos inalámbricos mediante redes de sensores*. Bogotá.
- STMicroelectronics*. (22 de Enero de 2013). Obtenido de <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm321151-152.html?querycriteria=productId=LN962>

## 8. ANEXOS

### Código de programación del Anchor.

```
#include <stm32/11/iwdg.h>
#include <SPI.h>
#include "DW1000Ranging.h"
#include "DW1000Device.h"

#define WE_ARE_ANCHOR 1
#define PIN_READMODE A1

#define MY_SHORT_ADDRESS 0x000A

#define PRINT_DEVICE_TABLE 1

#define PIN_LED 13

#define SerialOut if(Serial)Serial
#define SerialOutBegin() Serial.begin()

#define MODULE_NEAR_VALUE 11.0
#define MODULE_NEAR_TIMEOUT 300
#if 0
#define MODULE_NEAR_INIT() do{ pinMode(22,OUTPUT); }while(0)
#define MODULE_NEAR_ON() do{ digitalWrite(22,HIGH); }while(0)
#define MODULE_NEAR_OFF() do{ digitalWrite(22,LOW); }while(0)
#else
#define MODULE_NEAR_INIT() do{ }while(0)
#define MODULE_NEAR_ON() do{ }while(0)
#define MODULE_NEAR_OFF() do{ }while(0)
#endif

bool weAreAnchor = false;
```

```

void setup() {
  pinMode(32, OUTPUT); //Wakeup=low
  digitalWrite(32, LOW);

  if(PIN_LED!=0xFF) pinMode(PIN_LED,OUTPUT);
  if(PIN_LED!=0xFF) digitalWrite(PIN_LED,LOW);
  if (WE_ARE_ANCHOR==2) pinMode(PIN_READMODE, INPUT_PULLUP);

  MODULE_NEAR_INIT();

  SerialOutBegin();
  delay(1000);
  iwdg_start();

  #if WE_ARE_ANCHOR==2
    weAreAnchor = !digitalRead(PIN_READMODE);
  #else
    weAreAnchor = (WE_ARE_ANCHOR==1);
  #endif

  DW1000Ranging.initCommunication();
  DW1000Ranging.attachNewRange(newRange);

  if (weAreAnchor) {
    DW1000Ranging.startAsTag("7D:00:22:EA:82:60:3B:9A",
DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1, MY_SHORT_ADDRESS);
  } else {

    DW1000Ranging.startAsAnchor("7D:00:22:EA:82:60:3B:9A",
DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1,
MY_SHORT_ADDRESS);//original=7D:00:22:EA:82:60:3B:9C
  }
}

```

```

#ifdef DW_TX_POWER
    DW1000.setManualTxPower(DW_TX_POWER);
#endif
}

void loop()
{
    iwdg_reset();

#ifdef PRINT_DEVICE_TABLE==1
    static uint32_t lastPrint = millis();
    if (weAreAnchor && (millis()-lastPrint)>500)
    {
        printDeviceTable();
        lastPrint = millis();
    }
#endif

    DW1000Ranging.loop();

    if (weAreAnchor)
    {
        static uint32_t nearCounter = 0;
        float nearestRange=DW1000Ranging.getNearestRange();
        if ((nearestRange>0) && (nearestRange<MODULE_NEAR_VALUE))
            nearCounter = millis();
        if ((millis()-nearCounter)<MODULE_NEAR_TIMEOUT)
            MODULE_NEAR_ON();
        else
            MODULE_NEAR_OFF();
    }
}

```

```

}

void printDeviceTable()
{
    SerialOut.print("\x1B[2J");
    SerialOut.print("Active");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print("Address");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print("Range");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print("Power");
    SerialOut.print("\r\n");

    unsigned int idx=0;
    for( DW1000Device* devicePtr=DW1000Ranging.getDeviceAtIdx(idx++) ;
devicePtr!=NULL ; devicePtr=DW1000Ranging.getDeviceAtIdx(idx++) )
    {
        SerialOut.print(!devicePtr->isInactive());
        SerialOut.print("\t");
        SerialOut.print(devicePtr->getShortAddress(), HEX);
        SerialOut.print("\t");
        SerialOut.print(devicePtr->getRange()); SerialOut.print(" m");
        SerialOut.print("\t");
        SerialOut.print(devicePtr->getRXPower()); SerialOut.print(" dBm");
        SerialOut.print("\r\n");
    }
}

void newRange()
{
    if(PIN_LED!=0xFF) digitalWrite(PIN_LED,!digitalRead(PIN_LED));
}

```



```

MODULE_NEAR_VALUE meters
#define MODULE_NEAR_VALUE  11.0
#define MODULE_NEAR_TIMEOUT 300
#if 0
  #define MODULE_NEAR_INIT() do{ pinMode(22,OUTPUT); }while(0)
  #define MODULE_NEAR_ON() do{ digitalWrite(22,HIGH); }while(0)
  #define MODULE_NEAR_OFF() do{ digitalWrite(22,LOW); }while(0)
#else
  #define MODULE_NEAR_INIT() do{ }while(0)
  #define MODULE_NEAR_ON() do{ }while(0)
  #define MODULE_NEAR_OFF() do{ }while(0)
#endif

bool weAreAnchor = false;
void setup() {
  pinMode(13,INPUT);
  pinMode(32, OUTPUT); //Wakeup=low
  digitalWrite(32, LOW);

  if(PIN_LED!=0xFF) pinMode(PIN_LED,OUTPUT);
  if(PIN_LED!=0xFF) digitalWrite(PIN_LED,LOW);
  if (WE_ARE_ANCHOR==2) pinMode(PIN_READMODE, INPUT_PULLUP);

  MODULE_NEAR_INIT();

  SerialOutBegin();
  delay(1000);
  iwdg_start();
  #if WE_ARE_ANCHOR==2
    weAreAnchor = !digitalRead(PIN_READMODE);
  #else

```

```

    weAreAnchor = (WE_ARE_ANCHOR==1);
#endif

DW1000Ranging.initCommunication();
DW1000Ranging.attachNewRange(newRange);

if (weAreAnchor) {

    DW1000Ranging.startAsTag("7D:00:22:EA:82:60:3B:91",
DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1, MY_SHORT_ADDRESS);
    } else {

    DW1000Ranging.startAsAnchor("7D:00:22:EA:82:60:3B:91",
DW1000.MODE_IN_CIRCUIT_1, MY_SHORT_ADDRESS);
    }

#ifdef DW_TX_POWER
    DW1000.setManualTxPower(DW_TX_POWER);
#endif
}

void loop()
{
    iwdg_reset();

#ifdef PRINT_DEVICE_TABLE==1
    static uint32_t lastPrint = millis();
    if (weAreAnchor && (millis()-lastPrint)>500)
    {
        printDeviceTable();
        lastPrint = millis();
    }
}

```

```

#endif

DW1000Ranging.loop();

if (weAreAnchor)
{
    static uint32_t nearCounter = 0;
    float nearestRange=DW1000Ranging.getNearestRange();
    if ((nearestRange>0) && (nearestRange<MODULE_NEAR_VALUE))
        nearCounter = millis();
    if ((millis()-nearCounter)<MODULE_NEAR_TIMEOUT)
        MODULE_NEAR_ON();
    else
        MODULE_NEAR_OFF();
}
}

void printDeviceTable()
{
    SerialOut.print("\x1B[2J");
    SerialOut.print(" Active");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print(" Address");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print(" Range");
    SerialOut.print("\t");
    SerialOut.print(" Power");
    SerialOut.print("\r\n");

    unsigned int idx=0;
    for( DW1000Device* devicePtr=DW1000Ranging.getDeviceAtIdx(idx++) ;
devicePtr!=NULL ; devicePtr=DW1000Ranging.getDeviceAtIdx(idx++) )

```

```

{
  SerialOut.print(!devicePtr->isInactive());
  SerialOut.print("\t");
  SerialOut.print(devicePtr->getShortAddress(), HEX);
  SerialOut.print("\t");
  SerialOut.print(devicePtr->getRange()); SerialOut.print(" m");
  SerialOut.print("\t");
  SerialOut.print(devicePtr->getRXPower()); SerialOut.print(" dBm");
  SerialOut.print("\r\n");
}
}

void newRange()
{
  if(PIN_LED!=0xFF) digitalWrite(PIN_LED,!digitalRead(PIN_LED));
  if (!weAreAnchor || PRINT_DEVICE_TABLE!=1)
  {
    SerialOut.print(DW1000Ranging.getDistantDevice()->getShortAddress(),
HEX);
    SerialOut.print(":");    SerialOut.print(DW1000Ranging.getDistantDevice()-
>getRange()); SerialOut.print("m\n");
    Serial1.print(DW1000Ranging.getDistantDevice()->getShortAddress(), HEX);
    Serial1.print(":");    Serial1.print(DW1000Ranging.getDistantDevice()-
>getRange()); Serial1.println("m\n");
  }
  if(digitalRead(13)){
    Serial1.println("D:1");
  }else{
    Serial1.println("D:2\n");
  }
}

```