



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GEOLOCALIZACIÓN
MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL MONITOREO DE NIÑOS
EN LA ESCUELA “JOSÉ ANTONIO LIZARZABURU”

AUTOR:
DARWIN MISAEL MUÑOZ TIERRA

Riobamba – Ecuador

2023

Esquema general del Prototipo

Una vez establecidos los requerimientos tanto de la parte de hardware como la del software, procedemos con la realización del esquema general del prototipo el mismo que se observa en la ilustración 7-3. Para la comunicación entre nodos se ocupa tecnología WiFi como se observa en la ilustración 7-3 (a) y Zigbee en la ilustración 7-3 (b).

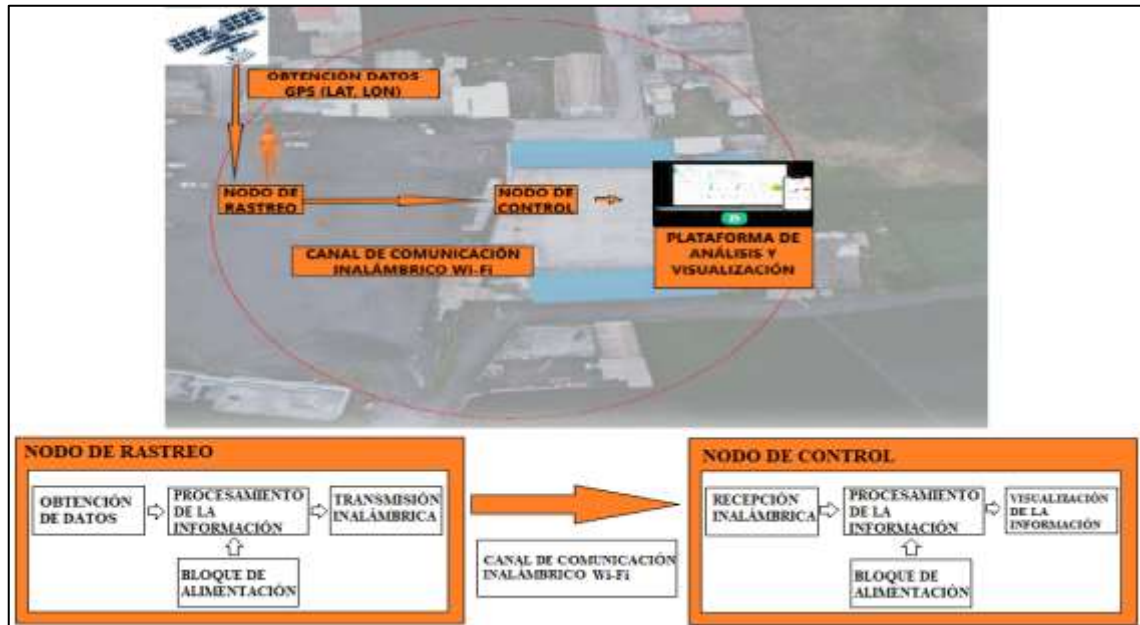


Ilustración 7-3: Esquema del prototipo Propuesto-Tecnología Wi-fi

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

(a)

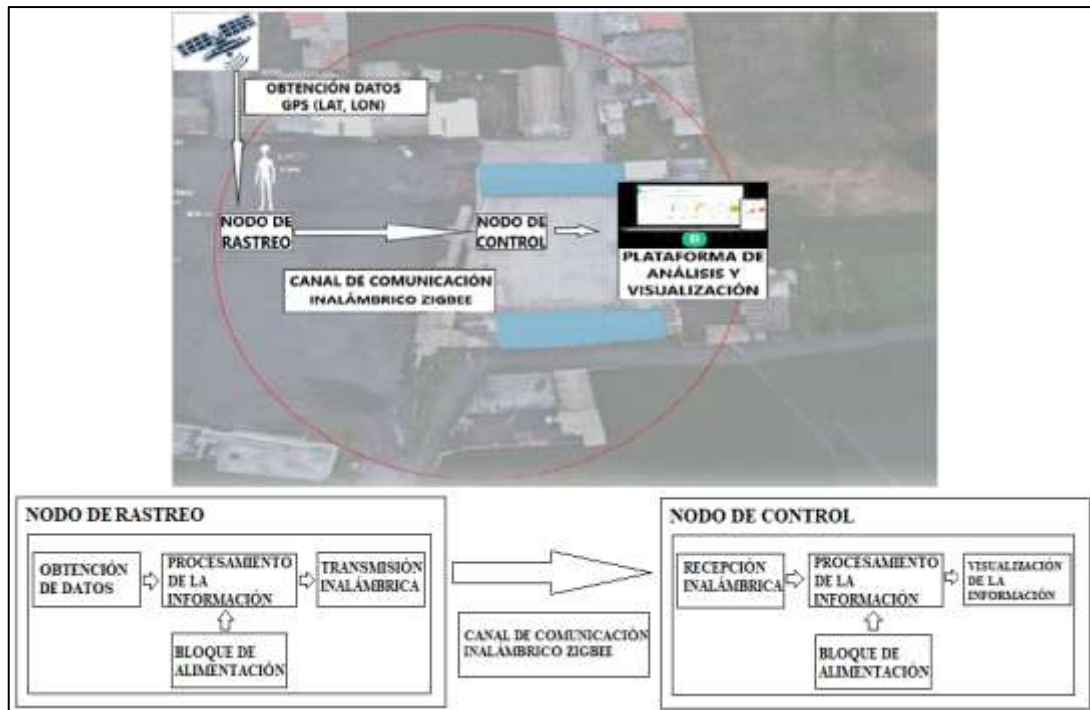


Ilustración 8-3: Esquema del prototipo Propuesto-Tecnología Zigbee

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediciones del retardo entre los nodos de comunicación

Para determinar el número de muestras necesarias se utilizó la ecuación (1-1) donde los parámetros establecidos fueron una probabilidad de confianza del 95% por lo que nuestro valor de z es 1.96 y un error estimado límite del 5%, la probabilidad de ocurrencia es del 98% y la probabilidad de no ocurrencia es el complemento de p es decir $(1-p) = 2\%$. Al sustituir los valores en la ecuación (1-1) tenemos que:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.98 * 0.02}{0.05^2} = 30,12 = 31 \text{ muestras}$$

Con el número de muestras obtenido se compara el retardo que existe en la comunicación de las dos tecnologías inalámbricas enviando datos constantes desde nodo de rastreo (emisor) hacia el nodo de control (receptor), los datos que se enviaron fueron latitud y longitud del punto central de la escuela José Antonio Lizarzaburu del cantón Guano.

3.1.1. Promedio del retardo entre los nodos de comunicación con tecnología Wi-Fi

En la tabla 2-4 se observa las 31 muestras obtenidas para el análisis, las mismas fueron recogidas del puerto COM 11 mediante el reloj de la tarjeta de desarrollo, esto se lo realiza midiendo el tiempo en que tardan los datos en llegar desde el nodo de rastreo hacia el nodo de control.

Tabla 2-4: Muestras obtenidas del retardo de la tecnología Wi-Fi

Muestra	Hora de envío (Emisor)	Hora de llegada (Receptor)	Tiempo de retardo [ms]
1	20:15:10:100	20:15:10:110	10
2	20:15:10:120	20:10:38:130	10
3	20:15:10:140	20:15:11:150	10
4	20:15:36:660	20:15:36:670	10
5	20:15:36:680	20:15:36:690	10
6	20:15:36:700	20:15:36:710	10
7	20:16:00:445	20:16:00:455	10
8	20:16:00:466	20:16:00:475	9
9	20:16:00:485	20:16:00:495	10
10	20:16:37:334	20:16:37:344	1
11	20:16:37:339	20:16:37:346	7
12	20:16:37:354	20:16:37:362	8
13	20:17:17:702	20:17:17:713	11
14	20:17:17:722	20:17:17:732	10
15	20:17:17:745	20:17:17:761	16
16	20:18:02:128	20:18:02:136	8
17	20:18:02:144	20:18:02:152	8
18	20:18:02:176	20:18:02:199	23
19	20:18:25:207	20:18:25:230	38
20	20:18:25:258	20:18:25:282	24
21	20:18:25:305	20:18:25:333	28
22	20:18:52:105	20:18:52:156	51
23	20:18:52:198	20:18:52:202	4
24	20:18:52:230	20:18:52:269	39
25	20:19:14:16	20:19:14:185	25
26	20:19:14:213	20:19:14:275	62
27	20:19:14:282	20:19:14:289	7
28	20:19:34:463	20:19:34:489	26
29	20:19:34:511	20:19:34:532	21
30	20:19:34:559	20:19:34:814	255
31	20:20:39:958	20:20:40:012	54

Realizado por: Darwin, Muñoz, 2023.

Los retardos producidos entre los nodos de comunicación con tecnología Wi-Fi varían dependiendo de la distancia de separación que tienen los nodos uno respecto al otro, condiciones climáticas, interferencias producidas por la infraestructura del lugar, entre otras. En la ilustración 2-4 observamos la variabilidad de los retardos con respecto al número de muestras establecidas. Es importante mencionar que los retardos tienen valores muy similares debido a que la distancia de separación fue constante.

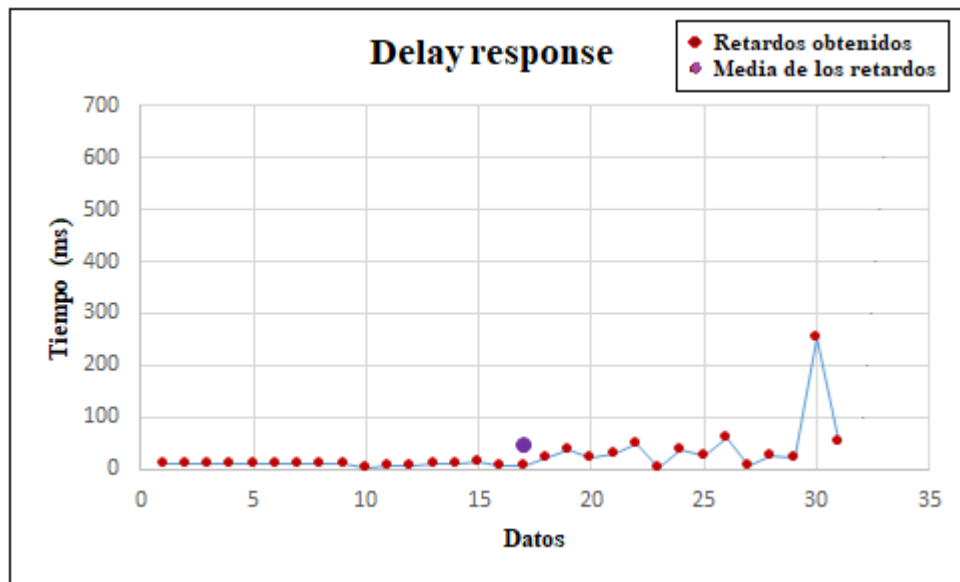


Ilustración 2-4: Retardo de la tecnología Wi-Fi

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Los datos obtenidos se observan en el puerto COM11 para el caso de la tecnología Wi-Fi en la ilustración 3-4 se detalla los valores arrojados en el puerto COM11.

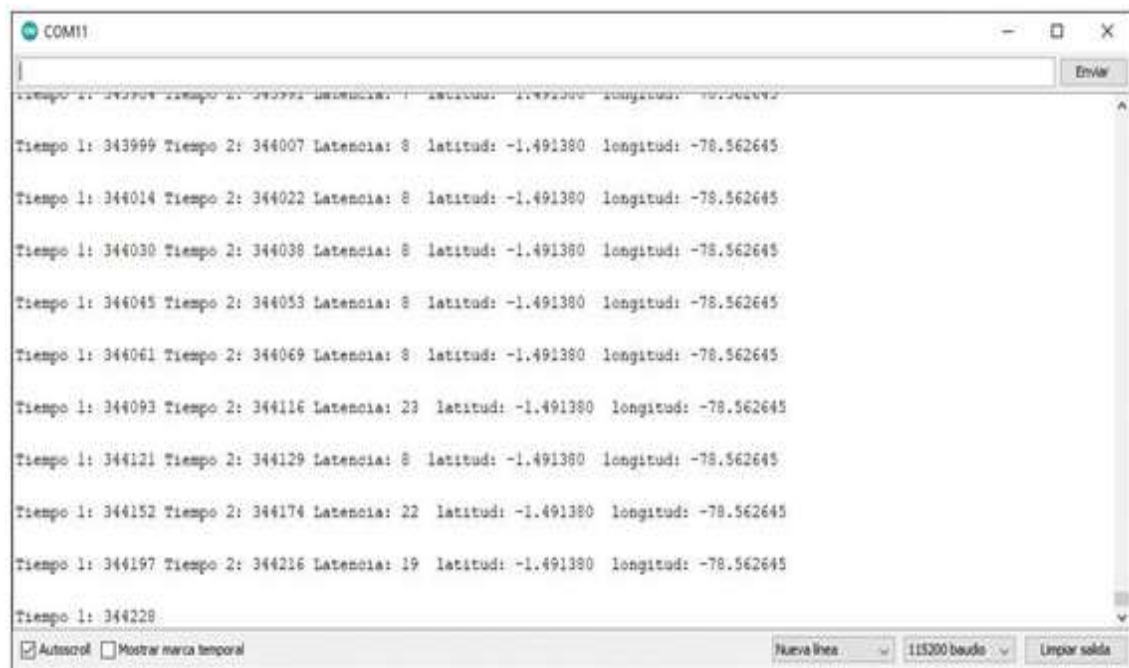


Ilustración 3-4: Monitor serial de pruebas de retardo tecnología Wi-Fi

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Promedio del retardo entre los nodos de comunicación con tecnología Zigbee

De igual manera como se lo realizó con la tecnología Wi-Fi se calcula los retardos producidos por la tecnología Zigbee, en la tabla 3-4 se indican las 31 muestras determinadas para el análisis del promedio de retardo, cabe mencionar que los tiempos arrojados por el puerto COM 7 del ide de Arduino vienen dados en milisegundos por lo que se tomó en consideración la hora de inicio de la prueba para asignar una determinada hora a los valores obtenidos.

Tabla 3-4: Muestras obtenidas del retardo de la tecnología Zigbee

Muestra	Hora de envío (Emisor)	Hora de llegada (Receptor)	Tiempo de retardo [ms]
1	20:30:30:300	20:30:30:404	104
2	20:30:30:508	20:30:30:612	104
3	20:30:30:716	20:30:30:820	104
4	20:32:22:074	20:32:22:180	106
5	20:32:22:286	20:32:22:392	106
6	20:32:22:499	20:32:22:605	106
7	20:32:48:422	20:32:48:528	106
8	20:32:48:634	20:32:48:740	106
9	20:32:48:846	20:32:48:953	107
10	20:33:13:482	20:33:13:588	106
11	20:33:13:695	20:33:13:801	106

12	20:33:13:907	20:33:14:013	106
13	20:33:40:256	20:33:40:362	106
14	20:33:40:469	20:33:40:575	106
15	20:33:40:681	20:33:40:787	106
16	20:34:12:591	20:34:12:698	107
17	20:34:12:804	20:34:12:910	106
18	20:34:13:017	20:34:13:123	106
19	20:35:27:468	20:35:27:574	106
20	20:35:27:681	20:35:27:787	106
21	20:35:27:893	20:35:28:000	107
22	20:35:54:834	20:35:54:940	106
23	20:35:55:046	20:35:55:153	107
24	20:35:54:259	20:35:54:365	106
25	20:36:25:786	20:36:25:892	106
26	20:36:25:998	20:36:26:105	107
27	20:36:26:211	20:36:26:317	106
28	20:36:50:045	20:36:50:64	19
29	20:36:50:124	20:36:50:229	105
30	20:36:50:335	20:36:50:442	107
31	20:38:34:686	20:38:34:792	106

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

En la ilustración 4-4 observamos la variabilidad de los retardos con respecto al número de muestras establecidas.

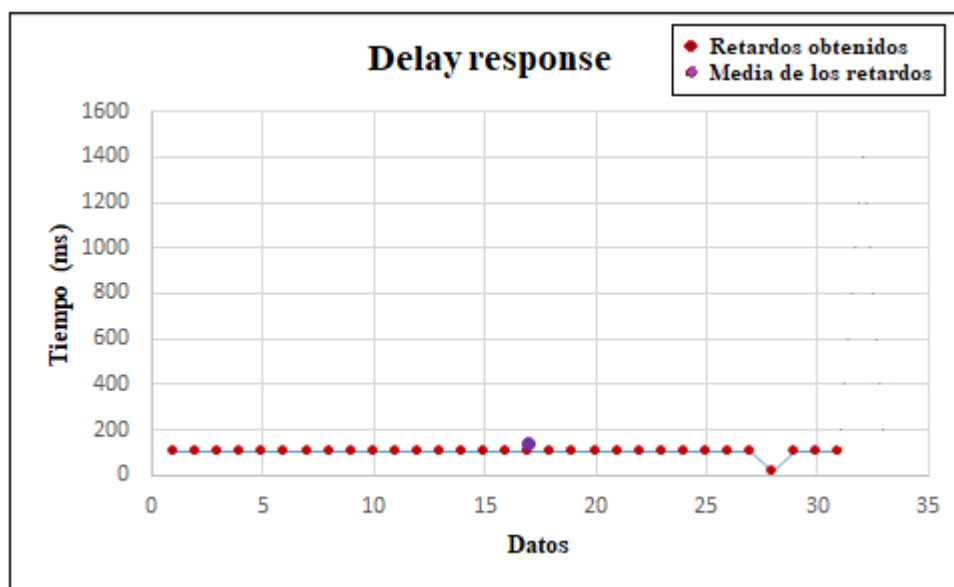


Ilustración 4-4: Retardo de la tecnología Zigbee

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

En el caso de Zigbee los valores obtenidos se observan en el puerto COM7 en la ilustración 5-4 se detalla los tiempos arrojados en el puerto COM7.



Ilustración 5-4: Monitor serial de pruebas de retardo tecnología Zigbee

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Rango de comunicación inalámbrica entre los nodos

Se utilizó el método prueba y error para determinar el rango de comunicación que existe entre el nodo de rastreo con el nodo de control tanto con la tecnología Wi-Fi como con la tecnología Zigbee, es decir se iban separando los módulos uno del otro con intervalos de 10 metros hasta que los datos transmitidos no lleguen a su destino, para asignar una calificación se utilizó la escala de Likert expuesta en el capítulo III apartado 3.2.

3.1.2. Rango de comunicación entre los nodos con tecnología Wi-Fi

En la tabla 4-4 observamos que la comunicación es excelente hasta los 50 metros, al sobrepasar ese rango los datos empiezan a tener una variabilidad de retardo es decir que se empiezan a perder aun así la comunicación es estable hasta los 130 metros, este valor es el rango más alto en el que puede operar esta tecnología a partir de esta distancia la comunicación entre nodos se pierde por lo que el dispositivo queda en estado no operacional.

Tabla 4-4: Prueba de rango de comunicación con Wi-Fi

Distancia (metros)	Valor Likert
1-10	4
10-20	4
20-30	4
30-40	4

40-50	4
50-60	3
60-70	3
70-80	3
80-90	3
90-100	3
100-110	2
100-120	2
120-130	2
130-140	0
140-150	0
Total	41

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Cabe mencionar que es de suma importancia las interferencias como casas, desniveles del suelo, buses, entre otras. Estas afectaran la comunicación entre los nodos disminuyendo el rango de alcance considerablemente.

3.1.3. Rango de comunicación entre los nodos con tecnología Zigbee

En la tabla 5-4 observamos que la comunicación es excelente hasta los 80 metros, es decir que presenta un retardo mucho más lineal a lo que se obtuvo con la tecnología Wi-Fi, pero sin embargo al sobrepasar ese rango los datos empiezan a tener de igual manera una variabilidad del retardo es decir que se empiezan a perder aun así la comunicación se da hasta los 100 metros, de igual manera la conexión se pierde luego de sobrepasar esa distancia.

Tabla 5-4: Prueba de rango de comunicación con Zigbee

Distancia (metros)	Valor Likert
1-10	4
10-20	4
20-30	4
30-40	4
40-50	4
50-60	4
60-70	4
70-80	4
80-90	3
90-100	3
100-110	0
100-120	0
120-130	0

130-140	0
140-150	0
Total	38

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Resultados comparación Likert del rango de operación entre las tecnologías Wi-Fi y Zigbee

Por medio de la tabla 4-4 y 5-4 tenemos como resultado que la tecnología Wi-Fi presenta un mayor alcance con una ponderación de 41 puntos logrando un rango de operación de 130 metros por su parte la tecnología Zigbee con una ponderación de 38 puntos logra un rango de comunicación de 100 metros.

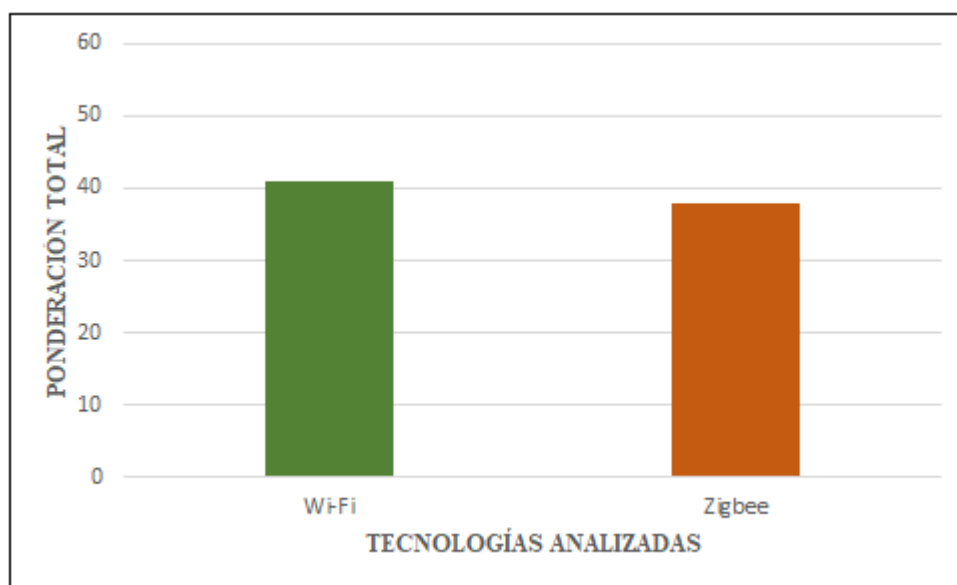


Ilustración 6-4: Escala comparativa rango de operación

Fuente: Muñoz, Darwin, 2023.

Precisión del Prototipo con cada tecnología

El número de muestras necesarias para una población infinita se lo obtuvo en el apartado 4.2, por lo que se requieren 31 muestras para establecer que tan preciso y exacto es nuestro dispositivo. Una vez obtenido el número de muestras necesarias se procede a sacar una media de los datos de esta manera y con un punto de referencia establecido en la ilustración 5-4 remplazamos estos valores en la ecuación (1-4) para encontrar la distancia en kilómetros entre dos puntos geográficos.

$$Distancia [Km] = 6371 * d^{\circ} \quad (1 - 4)$$

Donde:

$$d^{\circ} = \arccos[\cos(lat1) \cos(lat2) + \sin(lat1)\sin(lat2) \cos(lon1 - lon2)] \quad (2 - 4)$$

Remplazando la ecuación (2-4) en la ecuación (1-4) se obtiene la precisión en kilómetros para pasarla a metros se realiza la siguiente conversión.

$$d(Km) \left(\frac{1000m}{1km} \right) = d(m)$$



Ilustración 7-4: Punto de referencia

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

3.1.4. *Precisión del Prototipo con tecnología Wi-Fi*

Las mediciones con el prototipo funcionando con tecnología Wi-Fi se la realizaron en el exterior de las aulas de clase en un punto medio de la escuela el día 28 de julio del 2022 por un lapso de tiempo de 10 minutos, la lectura de los datos empezó 1 minutos después de encender el dispositivo de rastreo dándonos como resultados los datos mostrados en la tabla 6-4.

Tabla 6-4: Muestras obtenidas en las mediciones del prototipo con tecnología Wi-Fi

Muestra	Latitud	Longitud	Hora GMT-05
1	-1,491339	-78,56266	10:45:10
2	-1,49134	-78,56266	10:45:30
3	-1,491337	-78,56266	10:45:50

4	-1,491331	-78,56266	10:46:10
5	-1,491334	-78,562683	10:46:30
6	-1,491333	-78,562675	10:46:50
7	-1,491333	-78,56266	10:47:10
8	-1,491334	-78,56266	10:47:30
9	-1,491335	-78,56266	10:47:50
10	-1,491335	-78,56266	10:48:10
11	-1,491333	-78,562675	10:48:30
12	-1,491339	-78,562675	10:48:50
13	-1,491337	-78,56266	10:49:10
14	-1,491335	-78,56266	10:49:30
15	-1,491329	-78,56266	10:49:50
16	-1,491327	-78,562653	10:50:10
17	-1,491324	-78,562653	10:50:30
18	-1,491325	-78,562653	10:50:50
19	-1,491327	-78,562653	10:51:10
20	-1,491327	-78,562653	10:51:30
21	-1,491325	-78,562653	10:51:50
22	-1,491326	-78,562653	10:52:10
23	-1,49132	-78,562653	10:52:30
24	-1,491316	-78,562645	10:52:50
25	-1,491315	-78,562645	10:53:10
26	-1,491322	-78,562645	10:53:30
27	-1,491327	-78,562653	10:53:50
28	-1,491329	-78,56266	10:54:10
29	-1,491332	-78,56266	10:54:30
30	-1,491335	-78,56266	10:54:50
31	-1,491335	-78,56266	10:55:10

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Para entender de mejor manera la distribución de los errores de medida se realizó una gráfica mediante la herramienta Excel donde se representaron los puntos en un plano 2D, además se calculó la media para encontrar la distancia de error con respecto al punto de referencia.

10	-1,491326	-78,562637	11:15:10
11	-1,491325	-78,562637	11:15:30
12	-1,491322	-78,562645	11:15:50
13	-1,491321	-78,562645	11:16:10
14	-1,491321	-78,562645	11:16:30
15	-1,49132	-78,562645	11:16:50
16	-1,491316	-78,562645	11:17:10
17	-1,491317	-78,562645	11:17:30
18	-1,491318	-78,562645	11:17:50
19	-1,491316	-78,562645	11:18:10
20	-1,491313	-78,562645	11:18:30
21	-1,491311	-78,562645	11:18:50
22	-1,491312	-78,562653	11:19:10
23	-1,491314	-78,562645	11:19:30
24	-1,491315	-78,562645	11:19:50
25	-1,491316	-78,562653	11:20:10
26	-1,491317	-78,562645	11:20:30
27	-1,491318	-78,562653	11:20:50
28	-1,491319	-78,562645	11:21:10
29	-1,49132	-78,562645	11:21:31
30	-1,491319	-78,562645	11:21:50
31	-1,491319	-78,562645	11:22:10

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Se realizó una gráfica con los datos obtenidos por medio de Excel donde se representaron los puntos en un plano 2D, además se obtuvo la media para encontrar la distancia de error con respecto al punto de referencia.

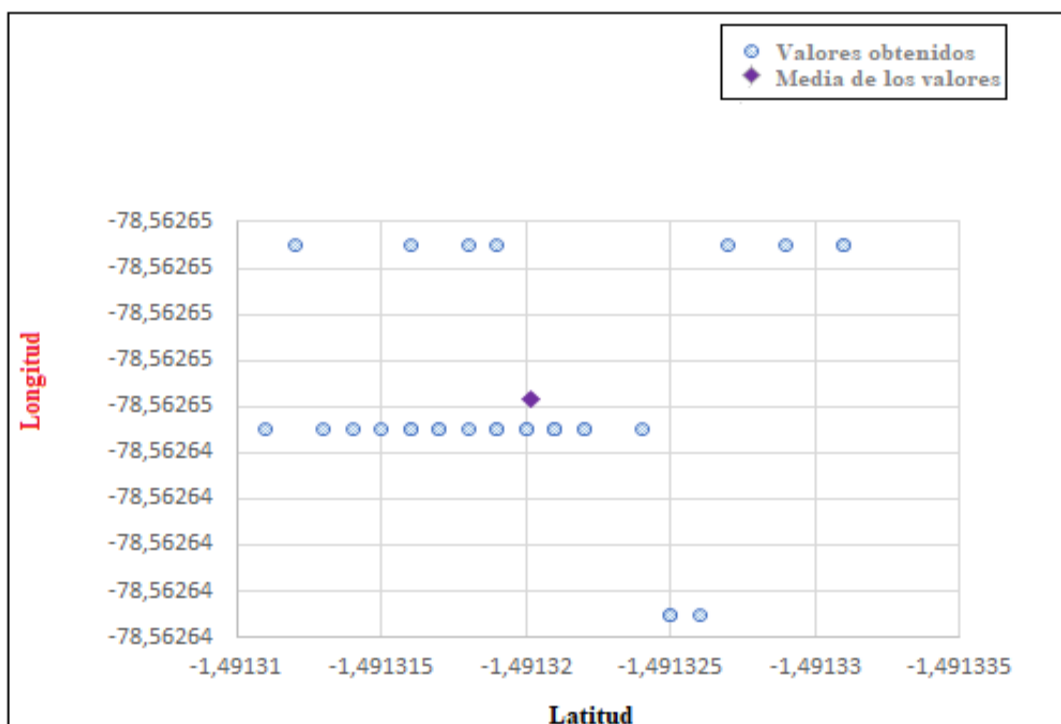


Ilustración 9-4: Distribución de los datos obtenidos y su media con tecnología Zigbee

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

El valor de la media calculado es (latitud = -1,491320167; longitud = -78,56264633), en cuanto al punto de referencia es el mismo (latitud = -1,491336; longitud = -78,56265). Se remplaza los datos obtenidos en la ecuación (2-4) dándonos como resultado la distancia de la media con respecto al punto de referencia de 1,81 metros.

Se pudo deducir que el error de distancia respecto a la media en los dos casos es muy similar esto es debido a que dicho error depende de la calidad del sensor GPS, por lo que la comunicación inalámbrica entre los nodos de rastreo y control no interviene en la precisión del dispositivo.

3.2. Comparación del consumo de baterías

Para realizar el análisis del nivel de consumo de energía del nodo de rastreo con las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica se describe el valor de corriente que necesita cada elemento que conforma el nodo en la tabla 8-4 observamos los valores que consume cada elemento.

Tabla 8-4: Comparación del consumo de baterías

Distancia (metros)	Elemento	Cantidad	Corriente

Tecnología Wi-Fi	ESP 32	1	180 mA
	Sensor GPS	1	100 mA
	LEDs	3	9mA
	Total		289 mA
Tecnología Zigbee	Arduino Nano	1	20 mA
	Módulo XBee	1	30 mA
	Sensor GPS	1	100 mA
	LEDs	3	9mA
	Total		159 mA

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

El cálculo de la duración de la batería del nodo de rastreo establecido con dos tecnologías inalámbricas se lo realizó mediante la ecuación (3-4), en donde se necesita saber el valor de la batería para la alimentación del dispositivo el cual es de 3200mA y además el total de consumo. Para la tecnología Wi-Fi se tiene un consumo absoluto de 289 mA por el otro lado la tecnología Zigbee consume un total de 159 mA.

$$\text{Tiempo de duración (Horas)} = \frac{\text{Capacidad bateria (mAh)}}{\text{Consumo total dispositivo(mA)}} * 0.7$$

3.2.1. Consumo de la batería con tecnología Wi-Fi

$$\text{Tiempo de duración (Horas)} = \frac{3200 \text{ (mAh)}}{289 \text{ (mA)}} * 0.7 = 7.75 \text{ (horas)}$$

Remplazando los valores de capacidad de la batería y del consumo total del dispositivo en la ecuación (3-4) se tiene una duración aproximada de la batería para el nodo de rastreo configurado con tecnología Wi-Fi de 7.75 horas.

3.2.2. Consumo de la batería con tecnología Zigbee

$$\text{Tiempo de duración (Horas)} = \frac{3200 \text{ (mAh)}}{159 \text{ (mA)}} * 0.7 = 14.09 \text{ (horas)}$$

Remplazando los valores de capacidad de la batería y del consumo total del dispositivo en la ecuación (3-4) se tiene una duración aproximada de la batería para el nodo de rastreo configurado con tecnología Zigbee de 14.09 horas.

Los resultados obtenidos indican que el nodo configurado con tecnología Zigbee consume menos corriente por lo que tiene una duración de la batería mayor debido a que la tarjeta de desarrollo Arduino nano y el módulo XBee ZB S2C TH tiene un consumo muy bajo en comparación con la tarjeta de desarrollo NodeMCU Esp 32.

La comprobación del consumo de batería se lo realizó mediante el método prueba y error aplicado al prototipo, es decir se lo dejó encendido y se tomó el tiempo que dura el prototipo enviando datos mediante un cronómetro hasta que la batería se agote y los datos dejen de ser enviados de esta manera se obtuvo que el prototipo con tecnología Wi-Fi tiene una duración de la batería de 6 horas 15 minutos mientras que el prototipo con tecnología Zigbee tiene una duración de la batería de 12 horas 10 minutos como se observa en el anexo F, valores más pequeños que los calculados con la ecuación (3-4).

3.3. Visualización de coordenadas y alertas

Como resultado entre la comunicación de los diferentes dispositivos con tecnología Wi-Fi y Zigbee se logró obtener los datos tanto en la plataforma de almacenamiento como en la interfaz móvil. Para la visualización de los valores se crearon dos dispositivos, uno para el nodo con tecnología Wi-Fi y otro para el nodo tecnología Zigbee los parámetros establecidos fueron los mismos de tal manera que cada dispositivo recibe los datos recolectados por el nodo de control que le corresponde.

En la ilustración 10-4 se observa cada Widget configurado como son: latitud, longitud, ledgps, lederr y un indicador de zona para saber si se sale del límite asignado como zona segura. Cada una de estas variables tienen su propósito latitud y longitud nos muestran las coordenadas del dispositivo de rastreo, ledgps nos indica que la conexión con el nodo de control está activa, lederr al igual que el indicador de zona son alertas de que el dispositivo de rastreo salió del área asignada como segura, además se tiene configurado en el nodo de control una alarma que se activa al momento en que el dispositivo salga de la zona segura

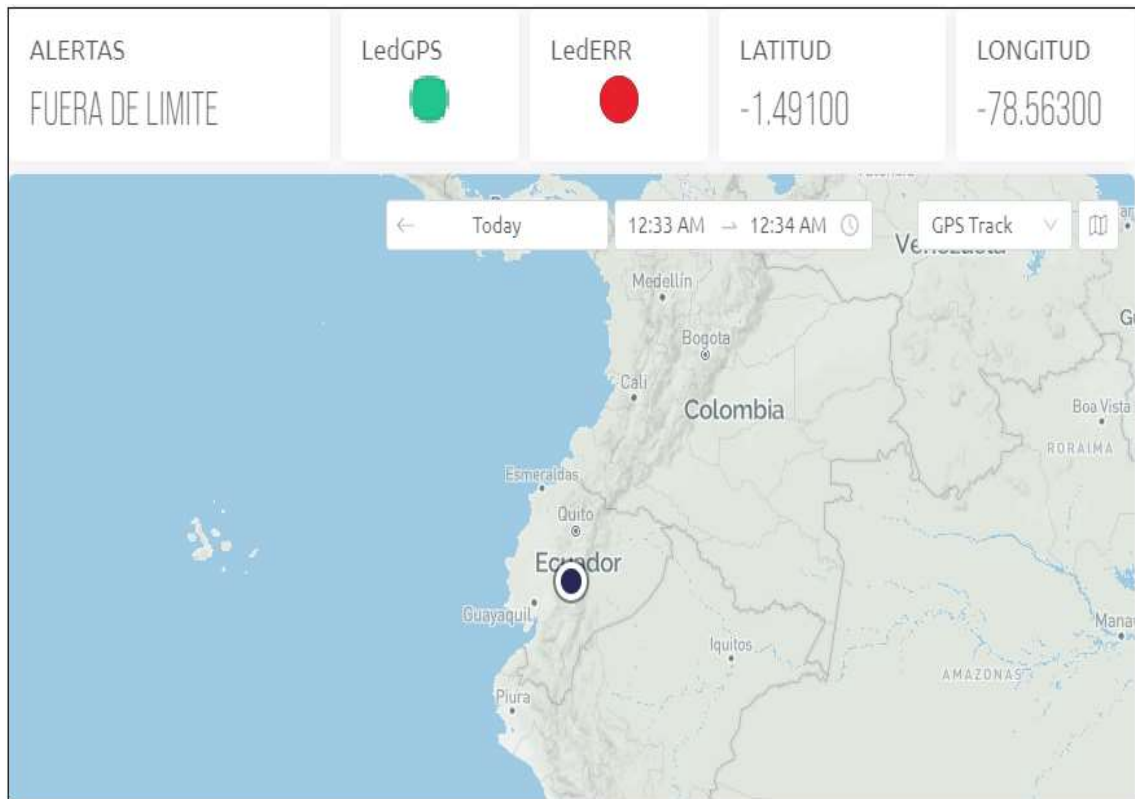


Ilustración 10-4: Datos mostrados en los Widgets de la plataforma Blynk.

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Las coordenadas mostradas en la interfaz móvil configurada en la plataforma Blynk se actualizan cada 500 ms. Para la visualización del mapa se tienen dos formas la primera como vista en satélite y la segunda en mapa de preferencia se debe utilizar la vista en mapa de esta manera se pueden observar lugares de referencia como calles, y lugares conocidos entre otras.

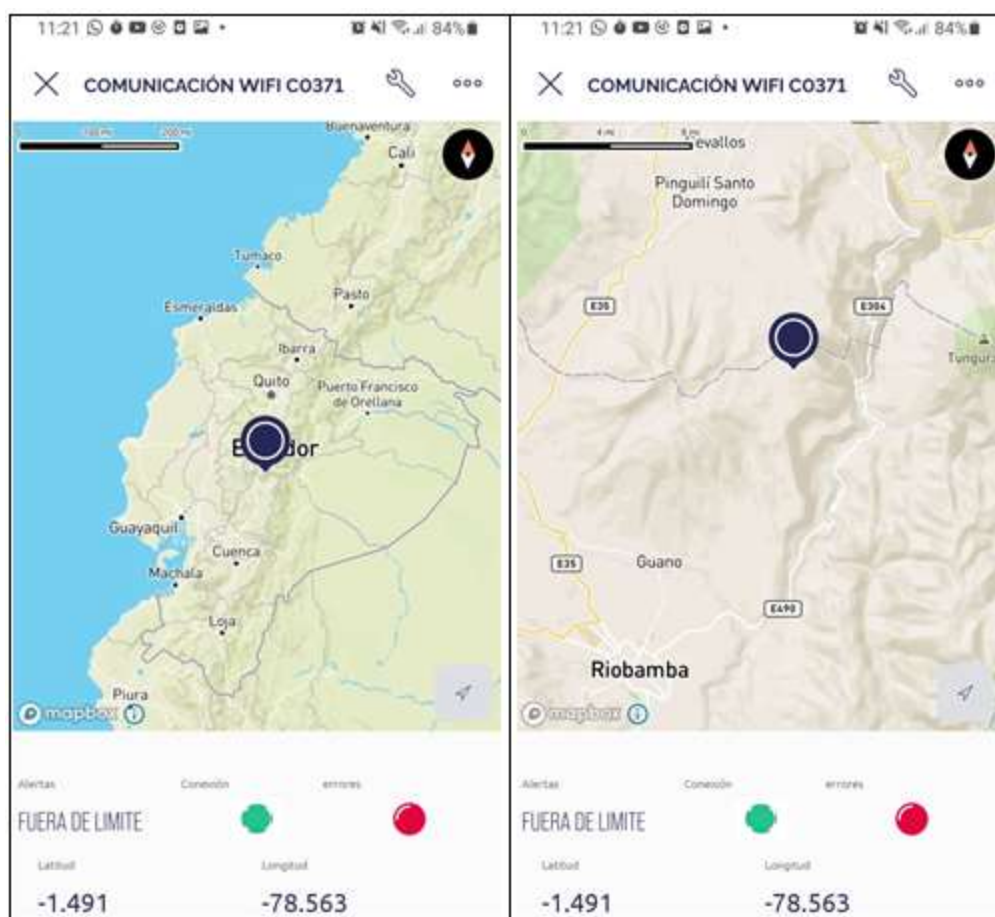


Ilustración 11-4: Datos obtenidos en la interfaz móvil Blynk.

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

Con los datos obtenidos la plataforma Blynk nos permite descargar reportes en formato .CSV que representan de manera sencilla los datos extraídos en forma de tablas. De esta manera se puede realizar un profundo análisis de los valores permitiendo establecer alertas preventivas y el monitoreo del niño de acuerdo a eventos y movimientos, de esta manera se puede ayudar a precautelar la seguridad de los niños cuando estén dentro de la institución.

3.4. Prueba de Geolocalización en tiempo real

Las pruebas de seguimiento se las realizó en la escuela José Antonio Lizarzaburu del cantón Guano, el recorrido empezó dentro de la institución exactamente desde las aulas de clases hacia la parte exterior de la escuela. Mediante el Widget Map configurado en la plataforma Blynk se pudo visualizar en la interfaz móvil el recorrido en tiempo real.

En la ilustración 12-4 podemos observar el recorrido realizado por un niño del día 30 de julio del 2022, el rango de comunicación entre los nodos al estar trabajando con tecnología Wi-Fi fue

aproximadamente de 100 metros posterior a esa distancia se encuentran casas e inclinaciones de las calles que no permiten establecer conexión entre los nodos, además se activan las alertas de aviso que el dispositivo salió de la zona segura.



Ilustración 12-4: Pruebas de recorrido del prototipo con tecnología Wi-Fi

Fuente: Muñoz, Darwin, 2023.

En la ilustración 13-4 de la misma forma se observa el recorrido realizado por un niño el día 28 de julio del 2022, el rango de comunicación entre los nodos al estar trabajando en este caso con tecnología Zigbee fue de igual manera que con la tecnología Wi-Fi aproximadamente de 100 metros posterior a esa distancia se dejó de recibir los datos de latitud y longitud.



Ilustración 13-4: Pruebas de recorrido del prototipo con tecnología Zigbee

Fuente: Muñoz, Darwin, 2023.

3.5. Evaluación de la interfaz móvil mediante el cuestionario UEQ

Como se mencionó en el capítulo II apartado 3.11.1 se evaluó la interfaz móvil de monitoreo mediante el cuestionario de experiencia del usuario (UEQ) (UEQ, 2018), aplicado a los 12 maestros de la institución José Antonio Lizarzaburu perteneciente al cantón Guano. En la tabla 9-4 se observa los resultados obtenidos en donde tenemos la calificación asignada por cada maestro a las 8 preguntas correspondientes al cuestionario UEQ, además se calculan las medias de cada aspecto a evaluar.

Tabla 9-4: Resultados del cuestionario corto de UEQ aplicado a los maestros

Maestros	Calificación asignada a los diferentes aspectos del cuestionario corto UEQ 1 al 7							
	Obstrutivo- Impulsor apoyo	Complicado-Fácil	Ineficiente- Eficiente	Confuso-Claro	Aburrido- Emocionante	No interesante- Interesante	Convencional- Original	Convencional- Novedoso
Jenny Falconí	5	6	6	6	5	5	5	6
Gladys Tierra	6	7	7	7	6	6	4	5
Segundo Duche	5	7	7	7	5	5	5	6
Hugo Yanza	7	6	6	6	4	6	6	5
Olga Ramos	6	7	6	7	5	7	4	6
Rocío Gualpa	6	7	6	7	6	6	5	5
Rosa Baldeon	5	6	7	6	5	5	4	6
Nelly Ramos	7	6	7	6	6	6	5	6
Ligia Guadalupe	6	7	7	7	4	6	5	5
Samuel Yuquilema	6	7	7	7	5	5	4	6
Diego Guadalupe	5	6	6	6	6	6	6	5
Baltasara Tenesaca	5	7	6	7	5	5	5	5
Valor de la media	5,75	6,58	6,50	6,58	5,17	5,67	4,83	5,50

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

De los resultados obtenidos en la tabla 9-4 se graficó los valores de las medias de cada pregunta correspondiente al cuestionario UEQ como se observa en la ilustración 14-4

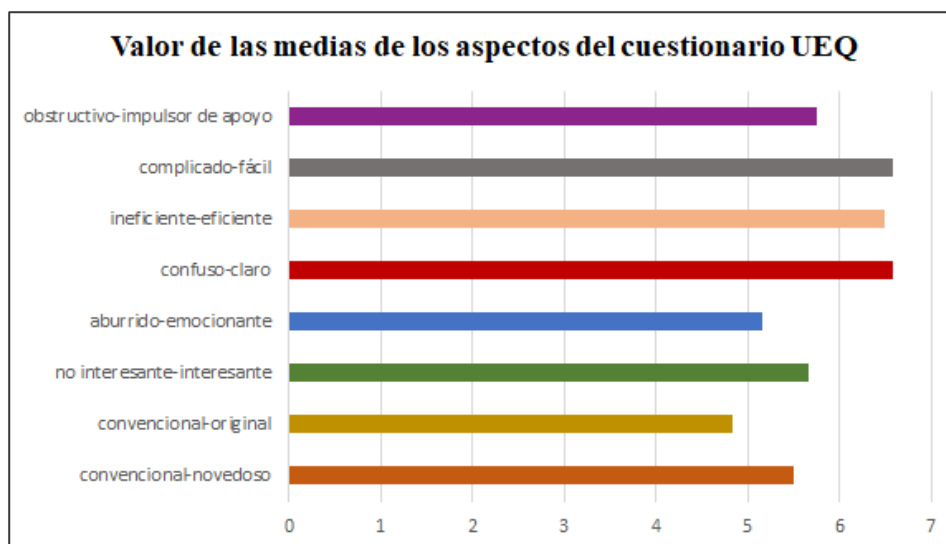


Ilustración 14-4: Media de los aspectos del cuestionario UEQ

Fuente: Muñoz, Darwin, 2023.

En la ilustración 14-4 se observa que los resultados fueron muy favorables teniendo todas las preguntas con valores por encima del dato intermedio de la escala de evaluación, es importante mencionar los aspectos que obtuvieron un mayor puntaje estos fueron la facilidad con una media de 6.58, la claridad con una media de 6.58 y la eficiencia con una media de 6.50 con lo cual la interfaz móvil de monitoreo brinda un entorno sencillo donde cumple eficientemente su propósito de monitorear niños en tiempo real.

3.6. Análisis Económico del prototipo de geolocalización

En este apartado se detalla un presupuesto de precios de cada uno de los dispositivos que conforman el prototipo como se observa en la tabla 10-4.

Tabla 10-4: Comparación del presupuesto de precios

PROTOTIPO	EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Wi-Fi	Tarjeta de desarrollo ESP 32	3	\$13	\$39
	Modulo GPS NEO-6m	1	\$16	\$16
	Batería 18650 recargable	1	\$3	\$3
	Módulo de carga tp4056	1	\$1.50	\$1.50
	Buzzer zumbador 5v	1	\$0,80	\$0,80
	Placa PCB	2	\$4	\$8
	Ensamblaje cajas	2	\$10	\$20
	Resistencias	7	\$0,10	\$0,70
	Leds	6	\$0,20	\$1,20

	Blynk (Mensual)	1	\$7	\$7
	Chaleco	1	\$8	\$8
	Total			\$105,2
Zigbee	Tarjeta de desarrollo Arduino Nano	1	\$15	\$15
	Tarjeta de desarrollo ESP8266	1	\$8	\$8
	XBee ZB S2C TH	2	\$42	\$84
	Modulo GPS NEO-6m	1	\$16	\$16
	Batería 18650 recargable	1	\$3	\$3
	Módulo de carga tp4056	1	\$1.50	\$1.50
	Buzzer zumbador 5v	1	\$0,80	\$0,80
	Placa PCB	4	\$4	\$8
	Ensamblaje cajas	2	\$10	\$20
	Resistencias	7	\$0,10	\$0,70
	Leds	6	\$0,20	\$1,20
	Chaleco	1	\$8	\$8
	Total			\$166,2

Realizado por: Muñoz, Darwin, 2023.

De los precios se deduce que una implementación con tecnología Wi-Fi tiene un precio de \$105 y con tecnología Zigbee tiene un precio de \$166 lo que indica que una implementación con tecnología Wi-Fi genera un ahorro de dinero de más o menos el 36% con respecto a una implementación con tecnología Zigbee.

CONCLUSIONES

- Las tecnologías de comunicación inalámbrica que mejores beneficios aportaron de manera técnica-económica a los requerimientos del prototipo según el estudio comparativo de parámetros como rango de operación, velocidad de transferencia de los datos, operación en zonas rurales, duración de las baterías, tamaño de la red, costo operativo y costo de mantenimiento fueron Wi-Fi y Zigbee con un porcentaje de 82% y 89% respectivamente en la escala de Likert.
- Según los requerimientos de la infraestructura de la escuela José Antonio Lizarzaburu se determinaron los siguientes parámetros de selección compatibilidad, facilidad de adquisición en el país y precio que nos permitieron escoger los dispositivos que son los módulos GPS6MV2, XBee ZB S2C TH, las tarjetas de desarrollo Arduino nano y NodeMCU Esp 32.
- Para una correcta visualización de la ubicación de los niños se desarrolló una interfaz móvil utilizando un software como servicio (Blynk), la cual se demostró que es sencilla de manejar mediante la aplicación del cuestionario UEQ a los maestros de la institución, obteniendo resultados favorables con medias de 6.58, 6.58 y 6.50 en una escala de 1 a 7 para los aspectos de facilidad, claridad y eficiencia respectivamente.
- Del funcionamiento del prototipo se determinó mediante la evaluación de los parámetros retardo, rango de operación y consumo de corriente, que Wi-Fi presenta un mejor rendimiento en dos de los tres parámetros evaluados con respecto a Zigbee con los siguientes resultados en promedio de retardo Wi-Fi 45,42 [ms] menor a Zigbee 142,06 [ms], en rango de operación Wi-Fi 130 [m] mayor a Zigbee 100 [m], en consumo de corriente Wi-Fi 289 [mA] mayor a Zigbee 159 [mA] con una duración de 6 y 12 horas respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Como valor añadido se puede agregar a futuros trabajos otro tipo de sensores que posibiliten la medición de más variables como pulso cardíaco, temperatura, entre otros que permitan tener un monitoreo más completo de los niños.
- Se recomienda para el desarrollo del proyecto seleccionar hardware que sea fácil de conseguir en el país de no ser así el precio final del prototipo aumentaría.
- Para el caso de comunicación entre los nodos, se recomienda utilizar tecnologías LPWAN, que permitan tener una mayor cobertura y así monitorear el movimiento de los niños más allá del área de la institución.
- Se recomienda trabajar aún más en la miniaturización del prototipo con el fin de obtener un dispositivo final más pequeño que sea más cómodo para los niños.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, M. *Estudio del estándar IEEE 802.15.4 “ZIGBEE” para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación con el estándar IEEE 802.15.1 “BLUETOOTH”* [en línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/55/1/CD-0024.pdf>

AHMAD, N. *Internet of Things Tapping into Security and Privacy issues associated with internet of things* [en línea] 2021. p. 26. Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1613697/FULLTEXT01.pdf>

ARANCIBIA, M. *Desarrollo de plataforma de localización GMLC en red GSM/UMTS* [en línea]. Universidad Autonoma De Chile, Santiago, Chile. 2016. p. 17. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/2465/1/1080224407.pdf>

ARCHUNDIA, F. *Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking* [en línea] Universidad de las Américas Puebla, México. 2003. pp. 14-15. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo3.pdf

ARDUINO, *What is Arduino?* [en línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

AVILA, D. *Implementación de un prototipo electrónico autosustentable geo-localizado con nodos inalámbricos para la ubicación de mascotas mediante una red de sensores* [en línea]. 2019. p. 11. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13368/1/98T00249.pdf>

CAETANO, A. *Keruve. Reloj localizador y receptor portable especializado para personas con Alzheimer y sus cuidadores* [en línea] 2016. p. 11. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/12365/fichero/memoria.pdf>

CAMARGO, J. *Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores* [en línea] 2009. pp. 35-37. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6Cap%C3%ADulo2++Redes+inal%C3%A1mbricas+de+%C3%A1rea+personal+%28WPAN%29.pdf>

CASTILLO, S. *Análisis de tecnologías WiFi y Zigbee que optimice las comunicaciones*

inalámbricas para el control de temperatura de un invernadero [en línea] 2012. pp. 47-49. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17531/1/UPS%20-%20ST004133.pdf>

CHOCOS, G. y SILVA, A. *Diseño e implementación de un prototipo de detección, localización y seguimiento en tiempo real de niños en los interiores de centros educativos utilizando la técnica de fingerprinting con tecnología WI-FI* [en línea] p 11. Disponible en: https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3367/chocos_silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DATACENTRIC, *Cómo distinguir entre geolocalización y georreferenciación.* [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.datacentric.es/blog/geomarketing/diferencia-entre-geolocalizaciogeoreferenciacion/>

GONGORA, E. *Estudio de la localización virtual vía satélite* [en línea] 2011. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/2465/1/1080224407.pdf>

GONZALES, S. *Tecnología Bluetooth* [en línea] México. 2008. pp. 15-16. Disponible en: <https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/619/640/641/3805.pdf>

HERNANDÉZ, L. *NodeMCU tutorial paso a paso desde cero* [en línea] 2018. Disponible en: <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

HUERTA, E et al. *GPS Posicionamiento Satelital* [en línea]. Rosario-Argentina: UNR Editora, 2005. p. 76. [en línea]. Disponible en: https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf

JIMÉNES, C. *Integración de tecnología domótica Z-Wave en la plataforma FIBARO* [en línea] 2018. p. 29. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/92099/fichero/TFG-2099-JIMENEZ+GARCIA.pdf>

LESANO, A. *Implementación y evaluación de dos prototipos basados en tecnologías inalámbricas para la adquisición y procesamiento de señales cardíacas en tiempo real* [en línea] 2018. pp. 27-30. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10939/1/98T00229.pdf>

MIÑO, H. *Diseño e implementación de un prototipo de cerradura con registro de acceso,*

supervisión remota y videovigilancia [en línea] 2021. pp. 24-26. Disponible en: [file:///C:/Users/DELL/Downloads/CD%2011149%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/CD%2011149%20(1).pdf)

PEREZ, N. y TORRES, B. *Desarrollo de un prototipo para la geolocalización y monitorización de frecuencia cardiaca de mascotas en la ciudad de Quito* [en línea] Ecuador. 2020. p. 8. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19072/1/UPS%20-%20TTS072.pdf>

PISANO, A. *Internet de la Cosas* [en línea] 2018. p. 27. Disponible en: <https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/16159/1/%5bP%5d%5bW%5d%20T.%20M.%20Ges.%20Pisano%2c%20Ariel.pdf>

REA, A. *Desarrollo de un rastreador gps para ubicación y desplazamiento de niños en rutas o zonas configuradas en una aplicación* [en línea] 2021. p. 10. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20714/1/UPS%20-%20TTS443.pdf>

SALTOS, E. *Diseño de un prototipo de sistema de parqueo inteligente para el edificio de la fie utilizando tecnologías basado en el internet de las cosas* [en línea] 2018. pp. 21-40. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10930/1/98T00224.pdf>

SANTOS, P. *Red inalámbrica de sensores (WSN) de monitoreo de la calidad del agua para estanques de truchas* [en línea] 2019. p. 29. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29894>

SIFUENTES, R. *Enlace inalámbrico zigbee para un sistema de alumbrado led autónomo* [en línea] 2018. pp. 20-21. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1759/CIE-SIF-JIM19.pdf>

SUQUILANDA, T. y IDROVO, M. *Diseño y montaje de enlace inalámbrico para transmisión de datos utilizando tecnología BLUETOOTH* [en línea] 2013. p. 1. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4785/1/UPS-CT002640.pdf>

UEQ, User Experience Questionnaire [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.ueq-online.org/>

VALENCIA, C. *Evaluación de tecnologías inalámbricas en redes de área doméstica para*

obtener la curva característica de carga en edificios inteligentes [en línea] 2019. pp. 17-18. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17531/1/UPS%20-%20ST004133.pdf>

VILAÑEZ, D. *Implementación de un prototipo de sistema de seguridad doméstico basado en wpan para una red IoT* [en línea] 2019. p. 10-13. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13493/1/98T00262.pdf>

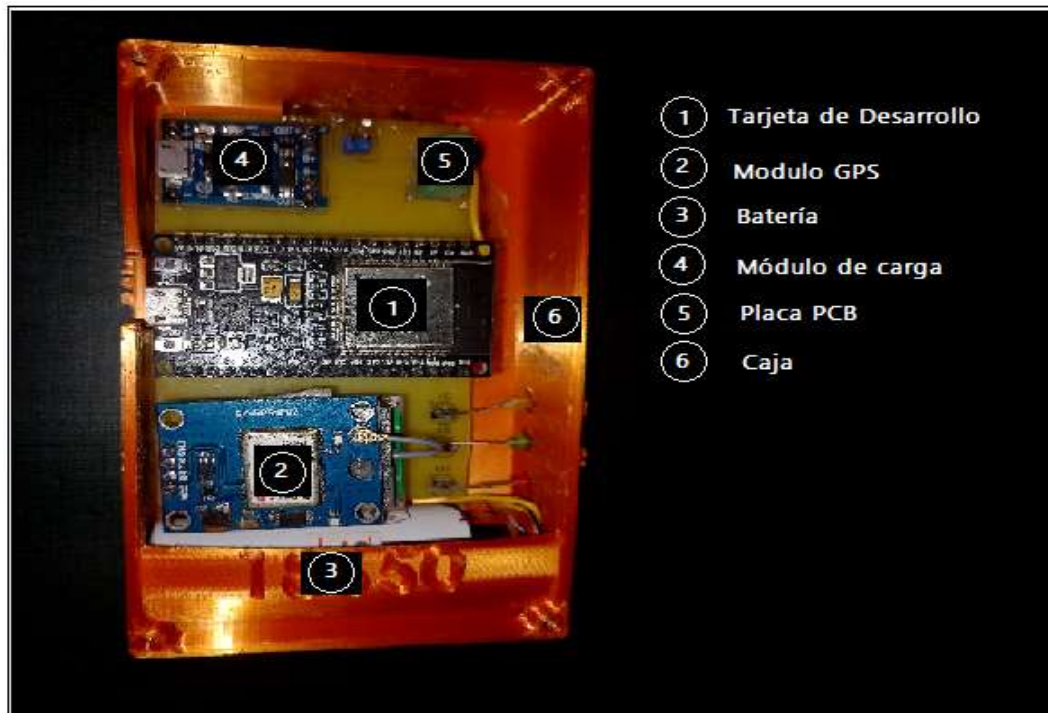
VILLACRÉS, J. *Estudio de la tecnología UWB (Ultra Wide Band) en redes inalámbricas de comunicaciones* [en línea] 2006. pp. 48-49. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/94/T-ESPE-014272.pdf>

ANEXOS

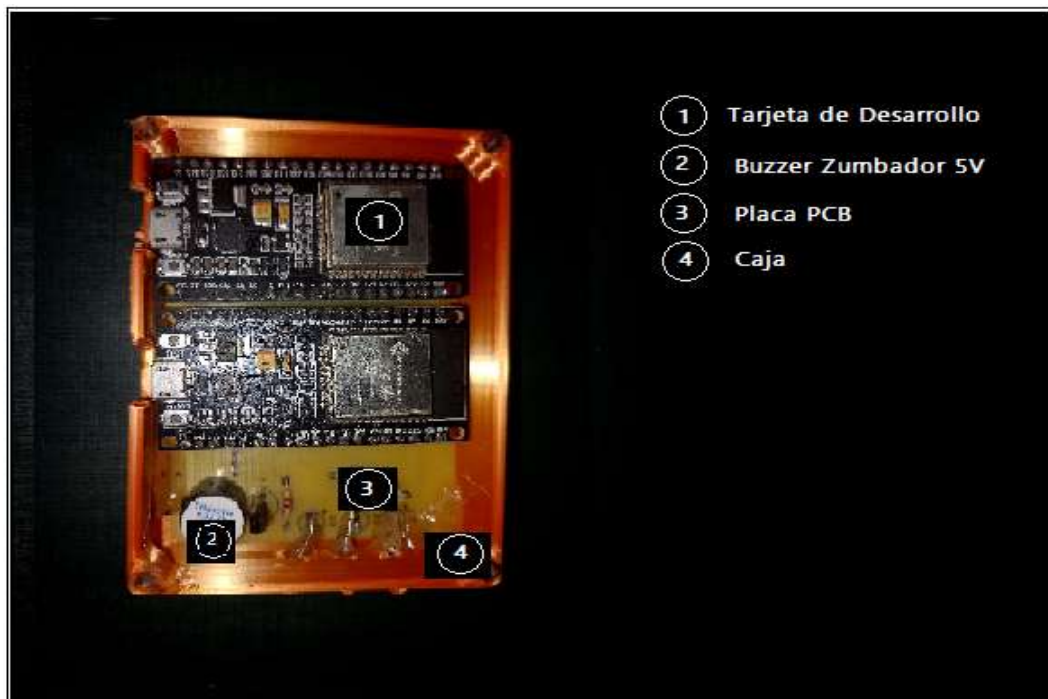
ANEXO B: COMPONENTES DEL PROTOTIPO

TECNOLOGÍA WI-FI

NODO DE RASTREO

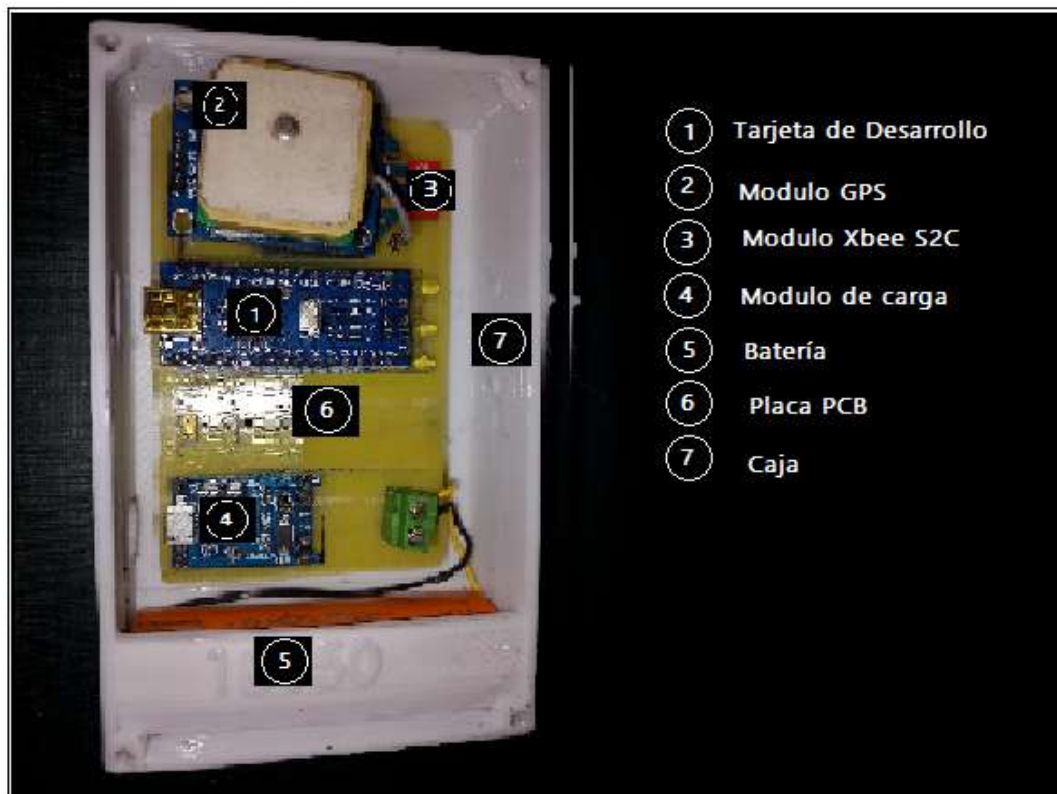


NODO DE CONTROL



TECNOLOGÍA ZIGBEE

NODO DE RASTREO



NODO DE CONTROL

