



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 19010030

**ESTUDIO Y DISEÑO DE LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE
LOCALIZACIÓN INDOOR EN ENTORNO INDUSTRIAL**

Flórez Gómez, José
TUTOR: Sirgo Blanco, José Ángel
COTUTOR: Rodríguez Rodríguez, José Manuel

FECHA: 06/2019

ÍNDICE

1.	<i>Introducción</i>	7
1.1.	Descripción del proyecto	7
1.2.	Problemática	8
1.3.	Objetivos.....	9
1.4.	Ventajas	9
1.5.	Contenido.....	10
2.	<i>Contexto</i>	12
2.1.	Entorno	12
2.1.1.	Divisiones, talleres y maquinaria	13
2.1.2.	Desarrollo sostenible.....	13
2.2.	Recursos humanos y jerarquía	14
3.	<i>Antecedentes</i>	16
3.1.	Revolución industrial	16
3.1.1.	Mecanización.....	17
3.2.	Segunda revolución industrial	17
3.3.	Tercera revolución industrial	18
3.4.	Cuarta revolución industrial: Industria 4.0	19
3.4.1.	Sistema ciber-físicos:	19
3.4.2.	Internet de las cosas	19
3.4.3.	Computación en la nube.....	20
3.5.	Resumen	22
4.	<i>Sistemas de localización</i>	24

4.1.	Introducción.....	24
4.2.	GPS	24
4.3.	Radiofrecuencia	25
4.3.1.	WIFI	26
4.3.2.	Bluetooth	32
4.3.3.	RFID (Radio frequency identification).....	35
4.3.4.	ZIGBEE.....	37
4.3.5.	UWB (Ultra wavr band)	39
4.3.6.	Comparativa de los diferentes sistemas con radiofrecuencia.	40
4.4.	Ultrasonidos	42
4.5.	Infrarrojos.....	43
4.6.	Visión.....	44
4.7.	Visible light communication (VLC)	45
4.8.	Tecnologías híbridas.	46
4.8.1.	Bluetooth+Wifi.	47
4.8.2.	VLC+Ultrasonidos.	48
4.8.3.	Infrarrojo + radiofrecuencia.....	48
5.	<i>Técnicas de localización</i>	50
5.1.	Método del ángulo de llegada. (AOA).....	50
5.2.	Método basado en potencia de señal. (RSSI).....	51
5.3.	Método basado en el tiempo.....	53
5.3.1.	Tiempo de llegada. (TOA).....	53
5.3.2.	Diferencia en el tiempo de llegada. (TDOA).....	54
5.3.3.	Round time of flight (RTOF).....	55
5.4.	Método basado en identificador de celda.....	55

6.	<i>Material presente en la empresa</i>	57
6.1.	PDA.....	57
6.1.1.	Utilización en la empresa	57
6.1.2.	Ficha técnica PDA-EDA 50-111	58
6.2.	Access Point.....	59
6.2.1.	ARUBA IAP-103	60
6.2.2.	ARUBA IAP-207	60
6.2.3.	Situación de Access Point en los talleres	61
7.	<i>Elección del sistema</i>	65
8.	<i>Diseño prototipo</i>	69
8.1.	Software de localización.....	69
8.1.1.	Programación.....	71
8.1.2.	Aruba	72
8.1.3.	Situm.....	77
8.1.4.	Ekahau.....	80
8.2.	Resumen de Opciones de Software de localización.....	84
8.3.	Análisis de redes actuales.	85
8.3.1.	Software.	88
8.3.2.	Teoría	89
8.3.3.	Mapeado del taller de mecanizado.	90
8.3.1.	Mapeado de taller de calderería.....	93
8.4.	Análisis de redes de implantación.....	96
8.4.1.	Implantación prototipo: talleres de calderería y mecanizado.....	98
8.4.1.	Implantación prototipo: talleres de naval y plásticos.	99
8.4.2.	Ficha técnica de AP instalados y propuestos.	101

8.4.3.	Resumen de prototipo de implantación	103
9.	<i>Presupuesto</i>	105
10.	<i>Líneas para el futuro</i>	107
11.	<i>Conclusión</i>	108
11.1.	Debilidades	108
11.2.	Fortalezas.....	109
11.3.	Beneficios	110
11.4.	Conclusión final	111
12.	<i>Bibliografía</i>	112

Índice de figuras

<i>Figura 2.1.- Intercambiador de calor de acero fabricado en las instalaciones de Mefasa[1].</i>	12
<i>Figura 2.2.-Organigrama jerárquico Mefasa</i>	15
<i>Figura 3.1.- Máquina de vapor.</i>	16
<i>Figura 3.2.-Construcción seriada de vehículos de combustión interna en la segunda revolución industrial.[5]</i>	18
<i>Figura 3.3.- Control de brazos y producto en producción sin cable en tiempo real.</i>	22
<i>Figura 3.4.- Comparativa de la evolución de la industria.</i>	22
<i>Figura 4.1.- Ejemplo de onda ancho de banda estrecha y de banda ancha en el dominio de la frecuencia[8].</i>	25
<i>Figura 4.2.-Potencia Wifi según frecuencia[9].</i>	27
<i>Figura 4.3.- Arquitectura de una red sin infraestructura[10].</i>	28
<i>Figura 4.4.-Arquitectura de una red con infraestructura[10].</i>	28
<i>Figura 4.5.-Topologías de las diferentes redes de Bluetooth.</i>	33
<i>Figura 4.6.-Ejemplo del funcionamiento de un modelo beacon de Bluetooth[12].</i>	34
<i>Figura 4.7.- Ejemplo del uso de beacons en el interior de un museo.</i>	34
<i>Figura 4.8.-Ejemplo de funcionamiento de un sistema RFID.</i>	35
<i>Figura 4.9.- Ejemplo de una lectura de objeto mediante Rfid para productos textiles [20].</i>	37
<i>Figura 4.10.- Topologías ZigBee[23].</i>	38
<i>Figura 4.11.-Arquitectura del sistema Ubisense [26].</i>	39
<i>Figura 4.12.- Comparativa de todas las tecnologías según su capacidad.</i>	41
<i>Figura 4.13.- Efecto del ruido según la frecuencia de cada banda.</i>	42
<i>Figura 4.14.-Topología de un sistema Bat-System.</i>	43
<i>Figura 4.15.-Ejemplos de los diferentes usos del VLC en el hogar.</i>	45
<i>Figura 4.16.- Estudio comparativo de la precisión de tecnología Bluetooth, Wifi y combinada[31].</i>	47
<i>Figura 4.17.-Esquema del sistema propuesto para una implantación híbrida VLC-Ultrasonido[32].</i>	48
<i>Figura 5.1.- Esquema de funcionamiento del método RSSI.</i>	52
<i>Figura 5.2.-Esquema de funcionamiento TOA.</i>	53
<i>Figura 5.3.-Esquema de funcionamiento TDOA.</i>	54
<i>Figura 5.4.-Esquema de funcionamiento RTOF.</i>	55
<i>Figura 6.1.- Modelo PDA de Honeywell Scanpal EDA50[33].</i>	58
<i>Figura 6.2.-Plano de conexiones del taller de mecanizado.</i>	62
<i>Figura 6.3.-Plano de conexiones del taller de calderería.</i>	63
<i>Figura 6.4.- Plano de las conexiones de taller de naval.</i>	63

<i>Figura 6.5.-Plano de las conexiones de taller de plástico</i>	64
<i>Figura 8.1.- Ejemplos de código HTTP más comunes.</i>	72
<i>Figura 8.2.-Mapa de calor de la cobertura Wifi en una planta [36].</i>	74
<i>Figura 8.3.- funcionamiento de una red con A.L.E[37].</i>	75
<i>Figura 8.4.- esquema del sistema de localización utilizado por A.L.E, Airwave y APs[37].</i>	76
<i>Figura 8.5.- Ejemplo de un control de localización indoor en carretillas móviles[38].</i>	78
<i>Figura 8.6.- Ejemplo de display para carga de un plano en el dashboard de Situm[38].</i>	79
<i>Figura 8.7.- Esquema de funcionamiento de sistema de localización Ekahau[40].</i>	80
<i>Figura 8.8.- Ejemplo de Display Ekahau manager para el tracking en puntos de interés de distintos AP [40].</i>	82
<i>Figura 8.9.- Ejemplo de huella de potencia generada por dispositivos de emisión Wifi.</i>	83
<i>Figura 8.10.- Ejemplo de la distribución de una señal en el interior de una vivienda.</i>	86
<i>Figura 8.11.- Uso de canales Wifi en los talleres para los canales de 2.4 Ghz.</i>	88
<i>Figura 8.12.- Relación entre la potencia de señal Wifi y la velocidad de transmisión de datos [41].</i>	90
<i>Figura 8.13.-Representación en el plano de los puntos de acceso (AP).</i>	91
<i>Figura 8.14.- Plano de puntos de interés en el taller de mecanizado y localización de APs.</i>	91
<i>Figura 8.15.- Plano del taller de mecanizado con áreas de estudio destacables.</i>	93
<i>Figura 8.16.-Representación en el plano de los puntos de acceso (AP).</i>	94
<i>Figura 8.17.- Plano del taller de calderería con los puntos de interés y AP.</i>	94
<i>Figura 8.18.-Toma de medidas de potencia para los puntos de interés en el taller de mecanizado.</i>	95
<i>Figura 8.19.- Plano del taller de mecanizado con áreas de estudio destacables.</i>	96
<i>Figura 8.20.- Plano de distribución de estaciones del taller de mecanizado.</i>	98
<i>Figura 8.21.-Plano de distribución de estaciones del taller de calderería.</i>	99
<i>Figura 8.22.- Plano de propuesta de distribución de estaciones para el taller de Naval.</i>	100
<i>Figura 8.23.- Plano de propuesta de distribución de estaciones para el taller de plástico.</i>	101

1. Introducción

En este apartado se procederá a la descripción de las bases del proyecto y se tratará de exponer en que contexto se ha realizado el trabajo. Se describirán los objetivos del proyecto y los motivos por los cuales la empresa quiere invertir en este tipo de avances, así como las problemáticas a resolver por esta tecnología.

1.1. Descripción del proyecto

El proyecto consistirá en la investigación de una solución tecnológica, más adecuada, para la localización en planta de operarios del taller, situado en un entorno industrial. Para ello, primero se investigará acerca de todas las tecnologías posibles y que ya se están usando en diferentes sectores actualmente, que permitan realizar la localización indoor. Finalmente se valorará la más adecuada y rentable para la empresa tratando de aprovechar todos los bienes que ya se encuentran en la empresa. Además se tratará de realizar el diseño de una implantación de la tecnología elegida.

Este proyecto viene motivado con la idea de la entrada, dentro de la empresa, a la industria 4.0. Lo que busca el proyecto es el desarrollo y adaptación de los diferentes conceptos basados en la industria 4.0, de los que se hablarán más adelante. Los resultados buscados en una futura implantación de esta tecnología en planta serían:

- Localización en tiempo real del personal operario del taller durante su jornada de trabajo.
- Obtención de datos de movimiento, a lo largo del tiempo, del personal del taller (huella de calor).
- Posibilidad de realizar análisis de producción y tiempos.
- Control del comportamiento del personal que opera en el taller.
- Mejora de la seguridad de los operarios en el taller.

Con estos factores se podría conseguir una mejora importante, tanto de estudios de procesos productivos como de rendimiento de cada uno de los operarios, generando de esta manera un crecimiento en la empresa tanto en lo económico como en calidad.

1.2. Problemática

El crecimiento de la industria a lo largo de la historia conlleva que las empresas precisen de un constante desarrollo tecnológico, de manera que así se genere una competencia entre ellas, tanto en costes como en niveles de producción. Situándose en el contexto actual, la industria se encuentra en una fase de evolución hacia la llamada “industria 4.0”, término que más adelante se situara en un contexto temporal.

Esto hará que las inversiones, por parte de las diferentes compañías, en innovación y tecnología cobre una gran importancia para sacar el mayor rendimiento en sus sectores. Una entrada en las nuevas tecnologías y la industria 4.0 podría marcar la diferencia entre empresas del mismo sector y competencia.

Debido a que la existencia de este concepto es relativamente reciente, y de la gran cantidad de factores a desarrollar, así como de las múltiples tecnologías, la realización de diferentes estudios e investigaciones toma una gran importancia, para así poder realizar un desarrollo con el que obtener el mayor rendimiento posible. Un mal diseño o una mala implementación de un sistema llevarían a no conseguir los resultados más óptimos que lleven un crecimiento tecnológico real.

Concretando más específicamente en este proyecto, el desarrollo del estudio realizado conllevaría a solventar ciertas problemáticas y conseguir unos objetivos. Actualmente es difícil de controlar el tiempo en que cada operario está realizando un proceso, además de no poder saber en qué parte del taller se encuentra cada uno, tanto en materia de seguridad como en control de personal. Existirá de este modo poca fluidez en la información, ralentizando así ciertos procesos de control y producción. Por tanto, una investigación y diseño de implantación de la tecnología necesaria para el seguimiento indoor podría proporcionar muchas facilidades para solventar los problemas anteriormente expuestos y obteniéndose grandes ventajas, dotando así de una mayor fluidez en la información de situación de cada persona y de los talleres.

1.3. Objetivos

Lo que se busca con este proyecto es estudiar y encontrar la mejor tecnología que consiga satisfacer las necesidades de la empresa, aportando el mayor conocimiento posible sobre el tema. Siendo los principales objetivos:

- Estudio de las tecnologías actuales de localización indoor.
- Estudio de los métodos existentes de localización.
- Aprovechamiento de tecnologías y bienes ya existentes en la empresa en el diseño de la implantación.
- Estudio de los software y tecnologías actuales en el mercado para la propuesta de aquellos que más se adecuen a las necesidades de la empresa.
- Conseguir el mejor resultado posible tanto económicamente como tecnológicamente.
- Diseño de un prototipo de implantación.

Además cumplir todos estos objetivos, también se tratará de realizar un análisis para el futuro desarrollo de la localización indoor.

1.4. Ventajas

Este apartado expondrá las ventajas proporcionadas por el proyecto, de cara a una futura implantación. Estas ventajas vienen propiciadas por los motivos por los que la empresa ha decidido apostar por este proyecto.

- Iniciar una entrada en la industria 4.0, factor que se tratará más adelante y de una gran importancia en el sector.
- Mejora en el rendimiento de producción, con la posibilidad de realizar diferentes estudios con los múltiples datos obtenidos de forma automática con la implantación.
- Una mayor diferenciación sobre la competencia, pudiendo dar un servicio más amplio al cliente y aportando una mayor información sobre los procesos en la fabricación del producto.
- Obtención de la mayor cantidad de información posible sobre todos sus procesos productivos.

Las ventajas expuestas vendrían derivadas de la correcta implantación de un sistema de localización, además de acompañadas de otros proyectos presentes en la entrada dentro de otros sectores de la industria 4.0.

1.5. Contenido

En este apartado se expondrá de manera reducida el trabajo realizado en cada uno de los capítulos, incluyendo el actual (introducción).

-Capítulo 1, Introducción- Este apartado expondrá los motivos por los que se lleva a cabo este proyecto, la importancia dentro de la empresa y las ventajas que proporcionaría.

-Capítulo 2, Contexto- En este capítulo se expondrá de forma breve todo el entorno en el que se realiza el proyecto. Los datos y la información básica de la actividad de la empresa, y la situación en el organigrama en la que se sitúa el proyecto.

-Capítulo 3, Antecedentes- Este capítulo expondrá el crecimiento de la industria hasta la época actual, definiendo los diferentes factores que describen la industria 4.0 tal y como se conoce hasta ahora, empezando por las primeras revoluciones industriales hasta llegar a la actualidad.

-Capítulo 4, Sistemas de localización- En este apartado se analizarán las tecnologías que en la actualidad se están utilizando para la localización de dispositivos móviles, haciendo una descripción y análisis de cada una de ellas, y añadiendo sus ventajas y desventajas en todos los sentidos.

-Capítulo 5, Técnicas de localización- Este capítulo es un análisis de los métodos de triangulación, con los que las diferentes tecnologías pueden conseguir posicionar la

localización un objeto. A partir de este capítulo también se podrá valorar que método es el más ventajoso.

-Capítulo 6, Sistemas instalados en la empresa- En este capítulo se analizarán todos los bienes y dispositivos de los que dispone la empresa, ya instalados en el entorno de trabajo. Esto servirá para la consiguiente valoración y toma de decisiones de cuál será la mejor tecnología a implantar.

-Capítulo 7, Elección del sistema- En esta apartado se valorará, con todos los datos obtenidos en los capítulos 4, 5 y 6, cuales son las tecnologías a tener en cuenta para la posible implantación en el entorno, valorando las fortalezas y debilidades de las tecnologías de localización, en un entorno industrial, y teniendo en cuenta el resto de factores, como el aprovechamiento de tecnología.

-Capítulo 8, Diseño de prototipo- Este apartado tratará de presentar el diseño de un prototipo de la tecnología elegida, teniendo en cuenta todos los factores dependientes de dicha tecnología y tratando de analizar la implantación en todos los talleres

-Capítulo 9, Presupuesto- En este capítulo se tratará de llegar a una cifra aproximada del coste de la implantación sugerida.

-Capítulo 10, Desarrollo futuro- Este apartado tratará de las posibilidades futuras de la implantación y el desarrollo. Analizando el estado actual y futuro de este tipo de tecnologías y métodos

-Capítulo 11, Conclusión- En este apartado se analizarán tanto las ideas finales como los objetivos cumplidos. También se analizarán las fortalezas y debilidades del sistema elegido.

2. Contexto

En este apartado se explicará el entorno en el que se desarrollará el proyecto fin de máster. Empezando por definir el entorno de negocio de la empresa y terminando por el organigrama de la empresa.

2.1. Entorno

Mefasa, Mecanizaciones y fabricaciones S.A.U, es una compañía fabricante de bienes de equipo en metal y plástico, perteneciente a la compañía internacional Glencore [1]. Considerada como una filial al 100% de Asturiana de Zinc, una de las mayores empresas a nivel mundial de producción de zinc. Mefasa fue fundada en 1965, Su actividad principal es la fabricación y entrega de equipos mecano-soldados, fabricados en materiales metálicos, o realizados con materiales plásticos, todo ello siguiendo los planos facilitados por clientes o desarrollados por sus equipos.



Figura 2.1.- Intercambiador de calor de acero fabricado en las instalaciones de Mefasa[1].

2.1.1. Divisiones, talleres y maquinaria

Mefasa se encuentra dividida en dos divisiones de producción, basadas en el tipo de material que utilizan en la fabricación de encargos [2]:

- División metálica: Esta división se encuentra a su vez dividida, según los diferentes procesos de fabricación que realizan, en las secciones de mecanizado y calderería, en las cuales se realizan fabricaciones tanto soldadas como mediante tratamientos de mecanizado.
- División de plásticos: Fabricación de equipos construidos con materiales plásticos de epoxi, fibra de vidrio, kevlar y carbono, siendo la división de menor tamaño.

Mefasa tiene su sede en San Juan de Nieva, Asturias. Tiene un total de 10 talleres activos, que se dividen entre los llamados talleres de mecanizado, plástico, calderería y naval.

El taller de mecanizado es donde se encontraría el mayor número de máquinas con las que se realizan los procesos de mecanizado y acabado superficial de la división metálica, entre estas máquinas se contaría con diferentes tipos de tornos, mandrinadoras y fresadoras CNC, de mediano y gran tamaño, además de estar adaptándose una aérea del mismo para la realización de un taller de pintado.

En los talleres de calderería sería donde normalmente se encuentran gran parte de las máquinas de soldadura, aunque estas son desplazadas por los diferentes talleres, además de una serie de maquinaria como plegadoras, cortadoras... y una zona de fabricación en serie mediante brazos robóticos automatizados, de soldadura y manipulación.

Todas las divisiones y talleres de Mefasa actúan en común para el buen desempeño en la fabricación de las piezas, encargadas por los diferentes clientes, de esta forma se obtienen grandes resultados pudiéndose fabricar piezas soldadas, mecanizadas y mecano-soldadas.

2.1.2. Desarrollo sostenible

[3]Mefasa como empresa fabricante de equipos metálicos y plásticos gestiona su negocio teniendo en cuenta el impacto en la comunidad, medio ambiente y trabajadores. Por tanto se realizan inversiones en:

- **Prevención:** Haciendo que la seguridad sea una preocupación del día a día tanto para mandos como para trabajadores, ejerciéndose charlas al personal de trabajo y revisiones constantes de maquinaria y materiales, todos los días.
- **Medio ambiente:** Mefasa está comprometida con el medio ambiente, trabajando para que su impacto ambiental sea el mínimo posible. Optimización de consumo de agua, reducción de la carga de contaminante de los vertidos, minimización de los residuos generados y reciclado.
- **Relaciones con la comunidad:** Mefasa colabora con las comunidades locales y grupos de interés, tratando de desarrollar el entorno que la rodea.

2.2. Recursos humanos y jerarquía

En Mefasa se tiene un gran interés en la continua formación y desarrollo profesional de todos sus trabajadores, por ello además desde recursos humanos se realizan diferentes ofertas en prácticas en conjunto con la universidad, consiguiendo hacer crecer tanto a la empresa como a sus trabajadores y estudiantes.

A continuación se muestra el organigrama jerárquico de la empresa en 2018. Como se puede apreciar es una empresa con gran cantidad de secciones, cuyo tamaño podría ser considerado medio. Este proyecto, dentro de la empresa, se consideraría integrado dentro de la sección de producción.

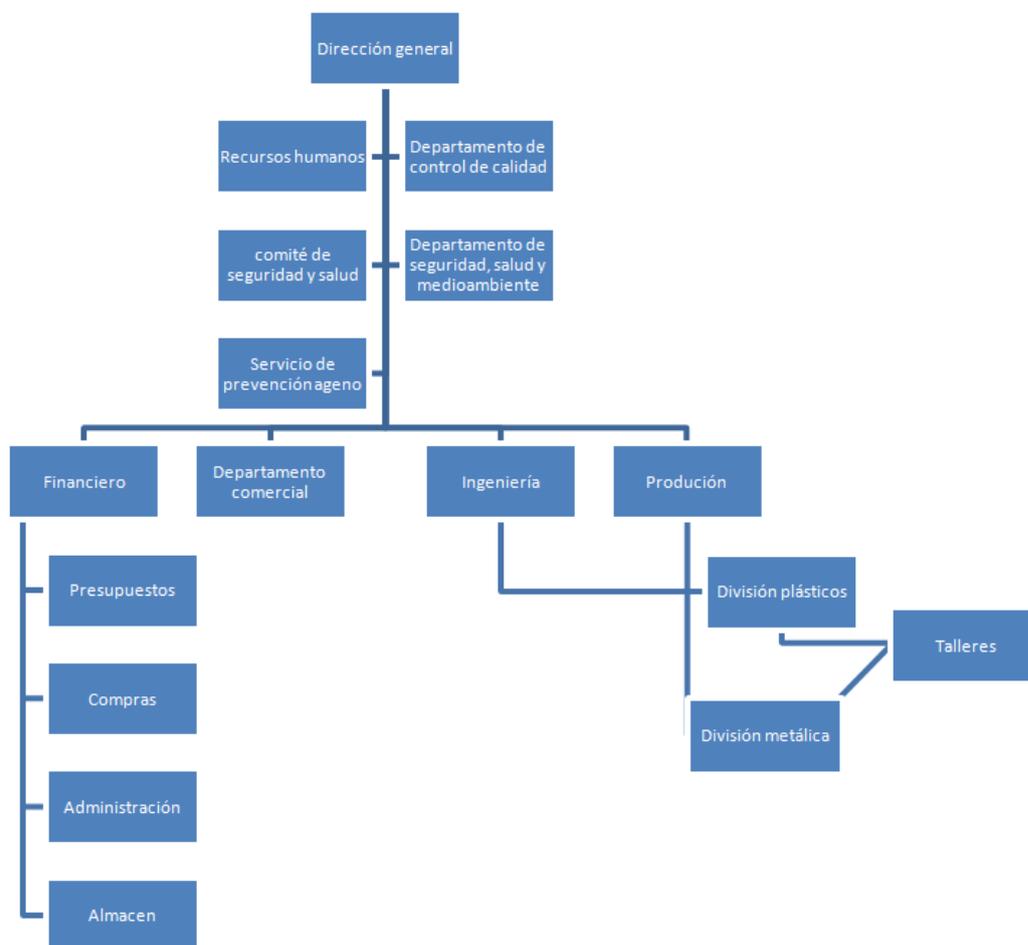


Figura 2.2.-Organigrama jerárquico Mefasa

- José María Bohigas (director)
- Javier Álvarez (Director financiero y responsable RR.HH)
- Mario Díaz (Seguridad y medio ambiente)
- José Manuel Rodríguez (Jefe de producción)
- Daniel García (Responsable de calidad)
- Andrea de la Grana (Recursos Humanos)
- Fernando Villa (Responsable de departamento de calderería)
- Miguel Fernández (Responsable del departamento de plástico)
- Juan Carlos Quesada (Responsable del departamento de mecanización y ajuste)
- Carlos Ramos (Jefe de taller calderería)
- Jairo García (Jefe de taller de mecanización y ajuste)
- Pablo Diez (Mantenimiento)

3. Antecedentes

En este apartado se tratará de exponer las bases de la industria 4.0 y su importancia actual, motivos por los cuales se considera de gran relevancia su implantación en la empresa.

Este apartado ayudará en contextualizar el motivo que lleva a realizar este proyecto, se analizará el desarrollo de la industria, este tema no puede ser tratado sin hablar antes de todo lo que lleva hasta nuestros días, empezando por la revolución industrial y finalizando en la actual industria 4.0.

3.1. Revolución industrial

La revolución industrial es conocido como el proceso de transformación social, económico y tecnológico ocurrido a mediados del siglo XVIII [4]. Toda esta transformación fue provocada por la patente de James Wat, la máquina de vapor. Esta fue utilizada para la creación del ferrocarril, revolucionando el transporte, y su adaptación a la industria con el uso de bombas y motores.

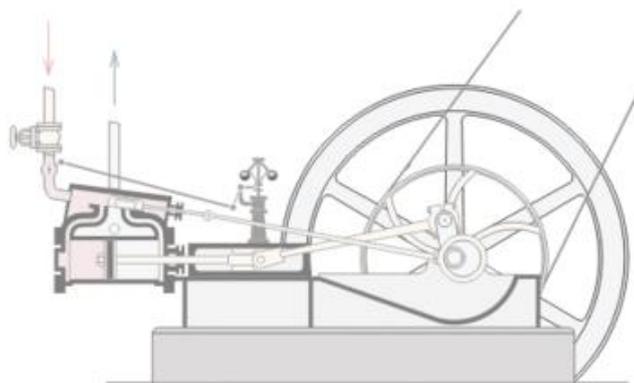


Figura 3.1.- Máquina de vapor.

La adaptación de este invento, junto con un nuevo ideal de sociedad, llevó a un increíble desarrollo tanto en la industria como en la sociedad, siendo una de las épocas de

mayor avance de los últimos siglos con un gran número de inventos, obsolescencia de la tracción animal, desarrollo de las ciudades, transporte....

3.1.1. Mecanización.

El siguiente paso en el desarrollo industrial, destacable, fue la mecanización, considerado como la segunda parte de la primera revolución industrial. Esta comenzó en el siglo XIX, con la invención de los primeros tornos y fresas, con lo que se comenzó a usar mecanismos para la construcción de piezas.

El inicio del mecanizado dio lugar a la división del trabajo y la construcción de lotes de piezas iguales, haciendo que las piezas de un mismo producto pudieran ser intercambiables, mejorando en la precisión de la fabricación. Se crean unos sistemas de lotes muy rígidos que permiten la construcción de productos en serie idénticos entre sí.

3.2. Segunda revolución industrial

La segunda revolución industrial vino provocada por la generación masiva de electricidad y el comienzo de las primeras producciones en cadena, aplicándose en gran medida en la construcción de vehículos de combustión interna.

Esta revolución dio comienzo a la producción de lotes de gran tamaño y la reducción del número de operarios, para la realización de las tareas. Seguían siendo unos sistemas rígidos pero con una mayor velocidad de producción.



Figura 3.2.-Construcción seriada de vehículos de combustión interna en la segunda revolución industrial. [5]

3.3. Tercera revolución industrial

La base de esta revolución, que surgió a mediados del siglo XX, es la creación de los primeros ordenadores, la tecnología de la información y la comunicación. Se basó en la automatización y computarización de los sistemas de fabricación, comenzándose a usar robots automatizados en la fabricación de bienes en serie.

En esta etapa se consigue un aumento de producción y la flexibilidad, así como en la precisión de los procesos, consiguiendo un gran salto en el desarrollo de la industria. También se desarrollo una mejora en la calidad de las materias primas y los bienes producidos de las mismas. Se comienza a primar más la tecnificación y cualificación de los operarios y se reduce el número de los mismos.

Son momentos del inicio a las grandes inversiones en las energías renovables por parte de la industria, el desarrollo de las baterías y los comienzos de los coches eléctricos.

3.4. Cuarta revolución industrial: Industria 4.0

Momento actual en la industria, es una revolución que se encuentra ahora mismo en desarrollo y pretende ser el próximo gran salto evolutivo en la industria. La base de la industria 4.0 se trataría de los sistemas ciber-físicos, el internet de las cosas (IOT) y la computación en la nube.

3.4.1. Sistema ciber-físicos:

Es todo sistema que integra capacidades de computación, almacenamiento, y comunicación para controlar e interactuar con un proceso físico [6]. Estos sistemas están diseñados para poder conectarse entre sí y con el mundo virtual de forma que no necesitan la utilización de grandes instalaciones de cableado.

Los factores principales en los que basan los sistemas ciber-físicos son:

- Capacidad de relación con objetos físicos para monitorizar y controlar.
- Capacidad de aprendizaje, con la acumulación de información. Dando la posibilidad de un mayor desarrollo.

Actualmente estos sistemas ya están siendo utilizados en múltiples sectores, no únicamente en la industria, sino en sanidad, extinción de incendios, acciones militares....

3.4.2. Internet de las cosas

Es la expresión utilizada para referirse al desarrollo de las conexiones entre los objetos e internet, realizando un intercambio de información muy útil para la gestión de las empresas. Lo que busca es aumentar la interacción entre máquinas y disminuir las interacciones máquina-humano, de esta manera agilizar ciertas actividades.

El desarrollo del IOT (internet of things) busca que todos los objetos puedan transmitir la información sobre su estado. Estos desarrollos podrían llegar hasta a conseguir que cualquier electrodoméstico del hogar pueda estar conectado y computarizando información en la red, y ayudando así en el día a día.

Actualmente el internet de las cosas abarcaría una gran cantidad de sectores y se plantea como el futuro no solo dentro de las empresas sino en la vida diaria de las personas. Algunos ejemplos del uso de IOT serían:

- Domótica: Este es uno de los sectores que está adquiriendo mayor importancia, las viviendas inteligentes están siendo planteadas como el futuro, en todos los hogares, no muy lejano.
- Localización: Tanto de objetos como de dispositivos de personas, se usa en diferentes sectores como comercial, industrial o incluso sanitario. Es un sector en pleno desarrollo y aplicado ya en muchas industrias, ahorrando gran cantidad de tiempo en búsquedas de stocks y en organización de producción y almacenaje.
- Información de producto: Muchas de las aplicaciones IOT en la industria se basan en la rápida obtención de datos sobre cierto producto sin necesidad de estar en la misma localización que el mismo, obteniéndose así por ejemplo datos.

En definitiva el IOT busca el reunir gran cantidad de datos del mundo real automáticamente, de forma más efectiva de lo que lo haría una persona, y aporta unos resultados para analizar de forma más sencilla. El fin último de esta tecnología es ahorrar una gran cantidad de tiempo y conseguir una gran cantidad de datos.

Hoy en día podemos ver IOT en gran cantidad de objetos comunes, como Impresoras a las que al estar cerca de acabarse la tinta compran más, servicios como Alexa que permite conectar todas las luces de la casa, sistemas de música..., existe un gran desarrollo en esta materia y un gran recorrido.

3.4.3. Computación en la nube

Término que se refiere al servicio de hospedaje de datos, proporcionado a través de internet. Estos servidores tendrían una accesibilidad constante para los usuarios, y de esta forma evitaría a las empresas el tener centros de datos. Sirve para flexibilizar y facilitar los despliegues de infraestructura, herramientas y componentes.

Estos servicios sirven para ofrecer a las diferentes empresas responder a las necesidades de negocio de forma muy flexible, adaptándose siempre a sus necesidades y con un amplio catálogo.

Existen por lo general tres modalidades de servicio en la nube [7]:

- Plataforma como servicio (PaaS). Es utilizado para el abastecimiento a las empresas de sistemas operativos sin necesidad de descargas o instalaciones.
- Software como servicio (SaaS). Se basa en la oferta de aplicaciones alojadas por otras compañías, entrando a su utilización a través de la red.
- Infraestructura como servicio (IaaS). Se basa en el uso de hardwares de terceros o diferentes servidores.

Este factor de la industria 4.0 sería el más desarrollado de los tres, siendo utilizado ya en miles de empresas y por usuarios particulares. Algunos ejemplos comerciales de computación en la nube de las empresas tecnológicas más importantes serían:

- Google App Engine. Servicio de alojamiento web de Google, permitiendo ejecutar aplicaciones sobre la misma infraestructura de Google.
- Amazon web service. Servicio ofrecido por Amazon, actúa como servicio de alojamiento de internet y es usado por otras aplicaciones conocidas actuando como infraestructura de servicio.
- Microsoft Azure. Servicio ofertado por Microsoft, esta plataforma ofrece servicios para aplicaciones como alojamiento en centros de procesamiento de datos o servicios de comunicación segura.

En definitiva la computación en la nube trata de prescindir de recursos locales y físicos para aprovechar la capacidad de almacenamiento y computación que ofrece la red, dando como gran ventaja la potenciación de los servicios sin el uso de grandes infraestructuras y con la ventaja económica del pago por uso. Teniendo como desventaja el depender de la nube y servicios externos.

3.5. Resumen

En definitiva el salto de la anterior revolución a la industria 4.0 es el desarrollo de la necesidad de obtenerse la máxima información posible de todos los procesos integrados en la industria. Dentro de toda esa obtención de datos se desarrolla al máximo el control de los procesos en tiempo real, sin la necesidad de encontrarte en el lugar del proceso.

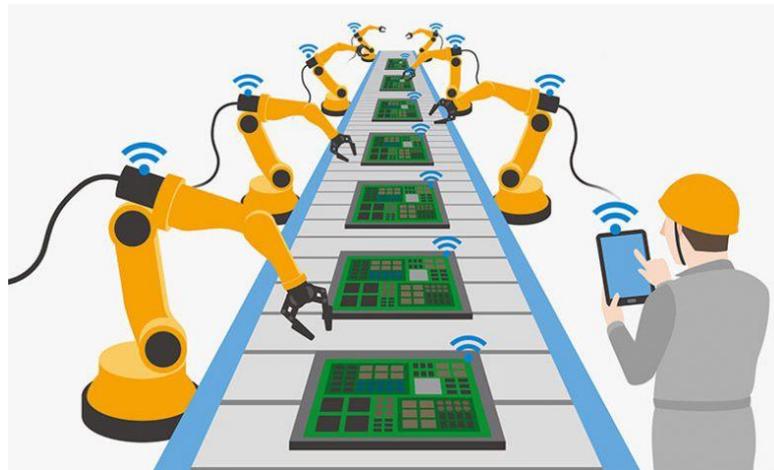


Figura 3.3.- Control de brazos y producto en producción sin cable en tiempo real.

El completo desarrollo de estas tecnologías dará forma al desarrollo de la industria 4.0, comenzando ya a ser implantada en las empresas pero aún con mucho camino que recorrer.

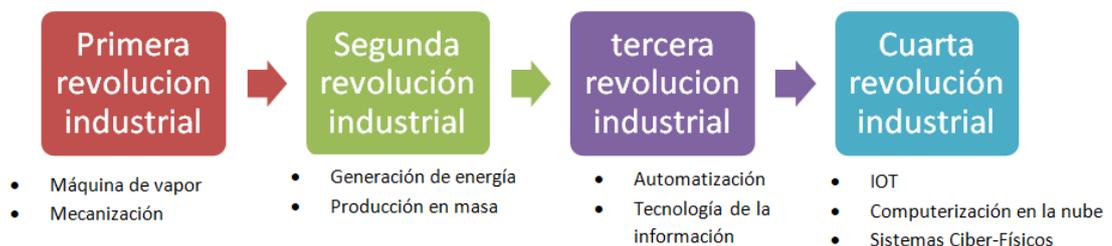


Figura 3.4.- Comparativa de la evolución de la industria.

La importancia de la fabricación 4.0 radica en la eficiencia y el control que esta genera en toda la cadena productiva, aportando grandes beneficios a todas las empresas decididas a emprender una continua renovación y actualización.

Las grandes ventajas que genera el emprendimiento en la industria 4.0 son:

- Mejora de la productividad y gestión de recursos
- Información instantánea y real para la toma de decisiones
- Optimización e integración de procesos productivos
- Aumento de la flexibilidad
- Reducción del tiempo de fabricación

En resumen la industria 4.0 es el intento de incorporación de las tecnologías de la información dentro de los procesos productivos industriales, y la adaptación de las empresas les da una tremenda ventaja en todos los sectores en los que se centre.

4. Sistemas de localización

En este apartado se explicará los principales sistemas utilizados para la localización de personas. Se enumeraran y explicarán para posteriormente se analizados para la implantación en el entorno en el que se basa este proyecto.

4.1. Introducción

La localización indoor es un sector en pleno auge en la industria 4.0. Su utilización no solo está basada en el entorno industrial, sino que se desarrolla para todo tipo de sectores como en la Domótica, drones o en comercios. Un ejemplo es el uso de localización indoor en centros comerciales, en el que el usuario puede saber su localización exacta y la de las tiendas, incluyendo información de las mismas como ofertas, aperturas....

Dentro del sector industrial se puede apreciar una gran utilidad del desarrollo e implantación de métodos de tracking indoor. Utilizados en almacenas para el seguimiento y obtención de información de un producto o para el seguimiento de personal dentro de talleres o almacenes. Estos métodos no solo consiguen mejorar el rendimiento y efectividad dentro de una empresa sino que también con un desarrollo adecuado se consiguen grandes mejora en seguridad.

4.2. GPS

La localización ha sido exitosamente implementada en entornos exteriores a través de la tecnología GPS. Esta tecnología ha supuesto un tremendo impacto en nuestra vida diaria, apoyando un buen número de aplicaciones de mapeo, guía y más. Nada más lejos, en entornos interiores el uso de GPS está muy limitado, debido a la atenuación de la señal a la hora de atravesar muros, techos y diversos obstáculos. Esto lleva a la búsqueda de otros métodos especializados en entornos interiores.

4.3. Radiofrecuencia

Las ondas de radiofrecuencia son aquellas que se generan aplicando corriente alterna sobre una antena. Su espectro electromagnético se encuentra situado entre los 3 Hz y los 300 Ghz.

Usando la ecuación que une la frecuencia con la longitud de onda (4.1):

$$c = f * L \quad (4.1)$$

Siendo:

- c = velocidad de la luz.
- f = Frecuencia.
- L = Longitud de onda.

Se tiene que a mayor frecuencia se tendrá una menor longitud de onda, lo que lo hace uno de los factores importantes a analizar en este proyecto, junto con otros factores que afectan a la longitud de onda.

Otro factor importante a tener en cuenta es el ancho de banda. El Ancho de banda permite conocer la cantidad de datos que pueden transmitirse por unidad de tiempo B/s, mientras que la Frecuencia mide el número de ocurrencias de un evento repetido por unidad de tiempo en Hz (la cantidad de paquetes de datos por unidad de tiempo).

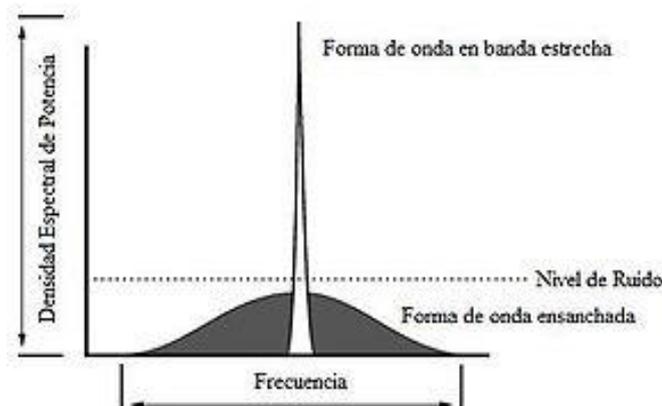


Figura 4.1.- Ejemplo de onda ancho de banda estrecha y de banda ancha en el dominio de la frecuencia [8].

Siguiendo la fórmula del teorema de Shannon-Hartley (4.2), se comprueba como el ancho de banda afecta de forma directa a la capacidad del canal, que equivale a la tasa de bit por segundo transmitida.

$$C = B \times \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (4.2)$$

Siendo:

- C: Capacidad del canal [bit/s].
- B: Ancho de banda [Hz].
- S: Potencia útil de la señal [W].
- N: potencia del ruido en el canal [W].

Por lo tanto, se tendrá que un mayor ancho de banda proporcionará una mayor capacidad de transferencia de datos.

En conclusión, el radio de acción de una tecnología RF vendría dado tanto por su frecuencia como por su capacidad de transmisión de datos, directamente relacionada como ya se ha visto con el ancho de banda. Por lo que, para conocer cuanta es la capacidad de su potencia y comparar las tecnologías, que se expondrán a continuación, se tendrá que tener en cuenta ambos factores.

Conociendo ya las variables, que afectan a las redes de frecuencia en el intercambio de datos, se pasará a un análisis y definición de todas las tecnologías, que podrían ser utilizadas en la localización indoor.

4.3.1. WIFI

Wireless Local Area Network, (WIFI), transmite y recibe datos usando ondas electromagnéticas, de forma que aporta conexión a aparatos móviles dentro de un área definida. El funcionamiento de esta red puede asimilarse como el mismo que las redes por cable, particularizando que su medio de transmisión en este caso sería el aire. Esta tecnología de radio frecuencia se basa el protocolo 802.11.

Definición de Wifi

Las bandas de frecuencia, que suele usar esta tecnología, son las de 2.4 Y 5 Ghz, su uso compartido es lo que permite que varios usuarios puedan conectarse al mismo tiempo, usando sus diferentes canales.

La limitación de potencia en el uso de red Wifi viene estipulado por ley y regulado según el país. En el caso de España [9], el uso compartido de la banda de 5 Ghz tiene una potencia máxima de 200 Mw entre los 5.15 y 5.36 GHz, y en 1 W en bandas entre los 5.47 y 5.725 Ghz. Como se muestra en la figura a continuación:

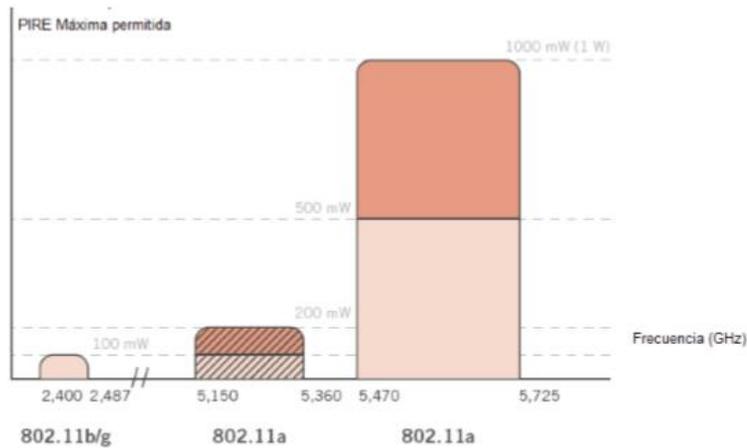


Figura 4.2.-Potencia Wifi según frecuencia[9].

El motivo por el que se usan dos bandas de frecuencia comunes es para aliviar la congestión, que tendría el uso de una sola banda. Las limitaciones no marcan un número máximo de usuarios conectados a la red, pero un número elevado de usuarios hace que el rendimiento baje considerablemente, dependiendo del uso que ellos mismos estén dando de la red. En parte esta necesidad de aumentar el número de canales viene dado por la evolución de la tecnología a lo largo de los años, que aumenta en una tremenda cantidad el número de dispositivos que se conectan a la red.

Componentes.

Una red Wifi se compone de su punto de acceso (AP), cuya función es la unión entre la red cableada y la red Wifi, Una o más antenas por AP y un terminal Wifi, que es el componente instalado en los aparatos que desean realizar la conexión Wifi, puede ser externo o ir integrado como ocurre en los móviles o PDA.

Arquitectura de redes.

Existen actualmente dos tipos de arquitectura de redes utilizados en la red Wifi [10]. A continuación se hará una breve exposición de ambas:

Redes sin infraestructura: Red de muy poco uso comercial, son redes que no necesitan un sistema fijo que interconecte algunos elementos de la arquitectura. Un ejemplo sería el “AD-HOC”, que permite comunicarse entre diferentes terminales que utilicen el mismo canal. Este tipo de redes no utilizan puntos de acceso sino que se interconectan entre ellos.

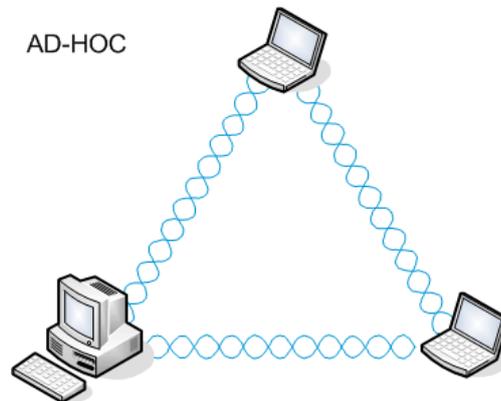


Figura 4.3.- Arquitectura de una red sin infraestructura [10].

Red en modo infraestructura: La red en este modo trabajará usando los puntos de acceso (AP), es la más común. Toda la red está configurada para utilizar automáticamente el mismo canal, además los puntos de acceso pueden trabajar como interconexión entre dos redes. En este caso el punto de acceso recibe las comunicaciones y las reparte ya sea dentro de la misma red o al centro de distribución.

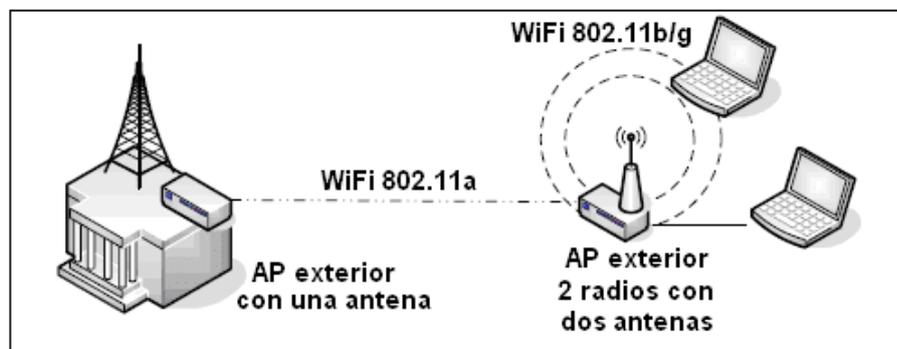


Figura 4.4.-Arquitectura de una red con infraestructura[10].

Protocolo

Las redes Wifi desde sus inicios siguen un protocolo IEEE 802.11. [11]Teniendo su primera versión en 1997 y pasando por múltiples cambios hasta nuestros días, estos cambios se explican por la rápida evolución tecnológica que existe hoy en día y la demanda de cada vez mayor velocidad, por parte de usuarios y dispositivos, estos protocolos seguirán desarrollándose a lo largo de estos años. Repasando los existentes hasta ahora se tiene:

- **802.11 Legacy-** Estándar que opera únicamente en la frecuencia de 2.4 GHz con una tasa de transmisión de datos de 1 Mb/s a 2Mb/s.
- **802.11b-** En esta actualización del estándar se mantendrá la frecuencia de trabajo consiguiéndose un aumento en la velocidad de transmisión de datos pudiendo llegar hasta 11 Mb/s.
- **802.11a-** Se consigue un aumento de transmisión de tasa de datos con valores de 6 Mb/s, 9 Mb/s, 12 Mb/s, 18 Mb/s, 24 Mb/s, 36 Mb/s, 48 Mb/s y 54 Mb/s. Cambiando la frecuencia original a 5 Ghz, reduciendo así la longitud de onda a unos 50 m. Esto hace a este estándar incompatible con las tecnologías adaptadas a los anteriores.
- **802.11g-** Este estándar vuelve a operar en la banda de los 2.4 Ghz, volviendo a ser compatible con anteriores versiones. Se consigue en este caso un gran aumento de la velocidad de transmisión de datos, en esta banda, hasta 54 Mb/s.
- **802.11n-** Gran mejora en la velocidad de transmisión de datos que sus predecesores, llegando a los 300 Mb/s. Además, se consigue el uso de las dos bandas de frecuencia, 2.4 y 5 Ghz, haciéndolo compatible con todos los dispositivos que actúen con los estándares anteriores.
- **802.11ac-** El último de los protocolos hasta el momento, con características parecidas al 802.11n pero con una mayor capacidad de transferencia de datos, que va desde los 400 Mb/s para la banda de 2.4 Ghz hasta los 867 Mb/s de la banda de 5 Ghz.

En la actualidad ya se está desarrollando en el siguiente nivel de protocolo que pueda abastecer la demanda actual de conexión a la red con la máxima velocidad posible, como ya se explicó anteriormente, todo derivado del rápido desarrollo tecnológico de los dispositivos y del aumento de aquellos que se pueden conectar a la red.

Frecuencias de trabajo

Las redes Wifi actuales trabajan en dos bandas de frecuencia, la diferencia entre el uso de una frecuencia u otra sería, sobretodo, la velocidad de transmisión de datos y la longitud de onda.

	WIFI	
Frecuencia	2.4 Ghz	5 Ghz
Longitud de onda	Mayor	Menor
velocidad	Menor	Mayor
Interferencia	mayor	menor
Canales	14	25

Tabla 4.1.-Comparativa de las características de diferentes frecuencias.

Como se indica en la tabla, el hecho de tener una mayor frecuencia consigue una menor longitud de onda, cubriendo un área menor, que la banda de menor frecuencia, de 2.4 Ghz. En cambio, con una mayor frecuencia se consigue tener una mayor transmisión de tasa de datos. El aumento de las interferencias en las bandas de 2.4 Ghz viene dado por el mayor número de estándares que usan dicha banda, por lo que hace que sea la que más usuarios utilicen, generando mayor interferencia entre ellos.

Por tanto, la combinación de ambas frecuencias consigue obtener las ventajas de ambas, cubriendo una mayor área de cobertura de red y a su vez teniendo una buena velocidad de transmisión de datos, con lo cual sus ventajas se sumarían y sus debilidades se restarían.

Localización

Mientras que los métodos en entornos exteriores les basta con detectar una señal a través de una estación, en entornos interiores el sistema se vuelve más complejo, de forma que se puede conseguir una mejor precisión a partir de un desarrollo [12].

Dado que el Wifi es una de las tecnologías más usadas en la actualidad para la transmisión de datos, hace que existan gran cantidad de antenas instaladas prácticamente en cualquier localización. Esto aporta grandes posibilidades en el uso de esta tecnología para la localización en interiores, además de dar la posibilidad de obtener un doble beneficio, mejorando las conexiones a la red a la vez que desarrollas la implantación de localización.

La tecnología para la localización Wifi se basa en la emisión y recepción de señales a través de sus antenas hacia dispositivos receptores, con la recepción de estos datos y realizando cálculos a través de diferentes métodos, que serán definidos más adelante en el proyecto, permite determinar la localización.

La principal problemática de este sistema proviene de una de sus grandes ventajas, ya que al ser un sistema muy utilizado e implantado en la mayor parte de los locales, el hecho de una gran afluencia de dispositivos conectados al mismo tiempo generará un tráfico de datos mayor, ralentizando de esta manera el intercambio de información e incluso podría llegar a generar interferencias, y repercutiendo así en la precisión de la localización. Otros factores que repercuten en la localización, sucedería cuando no se recibe directamente la señal del AP, sino que viene re-direccionada por un rebote o similar, haciendo que no se calcule la distancia exacta entre la antena y el dispositivo.

En la actualidad estos problemas de precisión se solventan a través de diferentes métodos, uno de los más utilizados sería el fingerprinting que constaría de dos fases:

1. Primera fase de estudio de la huella de potencia de cada AP, teniendo en cuenta todo lo que puede llegar a afectarle (suelos, paredes, máquinas...).
2. Segunda fase que constaría de un mapeo de potencia, este método se basa en la captación por parte del dispositivo de diferentes potencias en diferentes puntos del área de localización.

Otro método utilizado para la mejora de la precisión de la localización indoor es la instalación de diferentes hardwares en las antenas, diseñados específicamente para realizar las localizaciones, esto liberaría a los AP de cierta carga de procesamiento de datos, liberando espacio y mejorando así la precisión.

Ejemplo

Un ejemplo de desarrollo de esta tecnología es “Radar”, Desarrollado por Microsoft, Esta herramienta será una de las primeras en ser desarrollada para localización indoor con buenos resultados en cuanto a la precisión. Esta herramienta inicio el uso de Wifi utilizando la huella de potencia y el modelo de propagación de onda, teniendo en cuenta las atenuaciones por suelo y paredes [13].

Esta tecnología ya está siendo desarrollada e implementada en lugares como aeropuertos para el seguimiento y guía de pasajeros por las diferentes terminales o en

clínicas y hospitales para mejorar la fluidez de comunicaciones entre paciente y doctor una vez estas en el interior del recinto.

WIMAX

[14]Wimax es una norma de transmisión de datos que actúa en las frecuencias de 2.5 y 5.8 GHz y que llega a tener una cobertura de en algunos casos hasta 70km.

Esta tecnología sigue un estándar 802.16 [15], es utilizada para la comunicación en grandes distancias, por lo que en el sentido de la localización en interiores por el momento no tiene una gran utilidad, además de ser una tecnología bastante desconocida actualmente, pero con un posible gran desarrollo en el futuro en los términos de la localización tanto en exteriores como en interiores.

4.3.2. Bluetooth

Red inalámbrica de área personal que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda de 2.4 GHz [16].

Se trata de un sistema altamente implantado en todos los dispositivos móviles actuales, haciendo que su desarrollo actual sea muy creciente y comience a tener mayor importancia en otros sectores. Uno de sus principales problemas en el pasado llegó a ser el exceso de consumo de batería por parte del dispositivo, mientras mantenía activado la conexión Bluetooth, este problema actualmente se está solventado con el Bluetooth low energy, que prácticamente se ha implantado en todos los dispositivos móviles y permite utilizar esta tecnología sin un gran consumo de energía [17].

Tipos

[18]A lo largo de los años se ha desarrollado la tecnología Bluetooth para diferentes dispositivos, esto ha llevado a la creación de diferentes versiones de esta tecnología de forma similar a la evolución anteriormente explicada de las redes Wifi.

1. Bluetooth 1.0- Fue la primera versión y por tanto actualmente se encuentra en total desuso.
2. Bluetooth 2.0-Facilita la conexión entre los dispositivos con conectividad Bluetooth, teniendo una tasa de transferencia pequeña de 2 Mbps.

3. Bluetooth 3.0-aumento la capacidad de transmisión entre dispositivos, haciendo posible el intercambio de paquetes de datos de mayor tamaño, como archivos de video o musicales. La tasa de transferencia aumento hasta los 24Mbps.
4. Bluetooth 4.0- La versión más usada actualmente de Bluetooth, esta incluye todos los protocolos anteriores y además solventa uno de los principales problemas del uso del Bluetooth, el consumo de batería, introduciendo el concepto de Bluetooth low energy (BLE). A parte de esto, consiguió un aumento en las tasas de transferencia, llegando a trabajar ente 25 Mbps hasta 32 Mbps.
5. Bluetooth 5.0- Última versión Bluetooth, versión que pretende mejorar la funcionalidad de los dispositivos aumentando el radio de cobertura y la tasa de transferencia de datos.

Este desarrollo, al igual que el generado en las redes Wifi, viene dado tanto por la evolución tecnológica de los dispositivos como por la exigencia de los usuarios por la necesidad de obtener cada vez una comunicación de datos más pesados y más fluida.

Arquitectura

El Bluetooth forma unas redes punto a punto o punto multipunto formando redes llamadas piconet, formadas por varios esclavos unidos a un maestro. Si un maestro se une a una red como esclavo formaría una red scatternet.

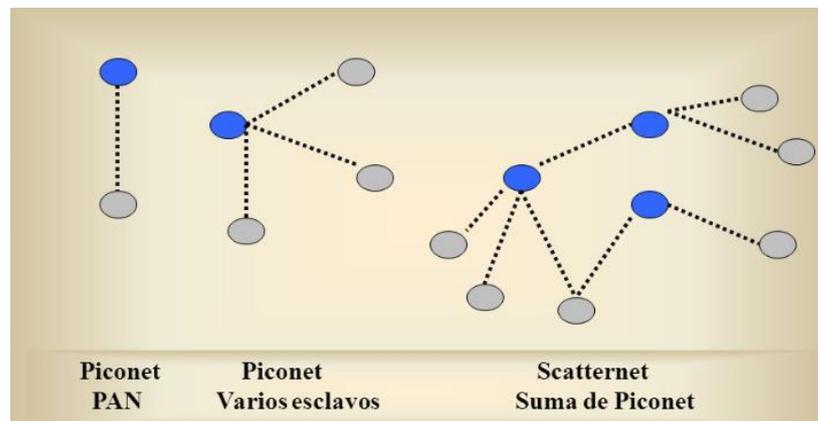


Figura 4.5.-Topologías de las diferentes redes de Bluetooth.

Localización

[12]Actualmente, gracias al desarrollo del Bluetooth low energy, Bluetooth se ha convertido en el competidor de la tecnología Wifi en la localización indoor. Para realizar

una localización mediante Bluetooth se desarrolló la tecnología de beacons, balizas, con ayuda de las cuales se consigue triangular la posición del objeto móvil conectado al Bluetooth. En este caso, al contrario que en el Wifi, el beacon manda una señal y es el propio dispositivo móvil el que calcula su posición midiendo la cercanía al beacon más próximo. Esta localización tiene una mayor precisión, pero no es tan efectiva en grandes áreas como la localización mediante Wifi.

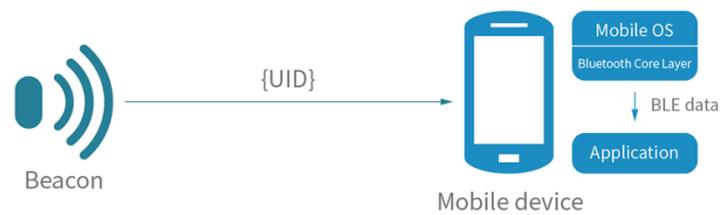


Figura 4.6.-Ejemplo del funcionamiento de un modelo beacon de Bluetooth [12].

Ejemplo

La tecnología de localización Wifi ha sido desarrollada por múltiples empresas para el uso en localización indoor en superficies como cafeterías u oficinas, uno de sus grandes usos es en museos, donde consigue guiar a los visitantes aportando información sobre las obras cercanas a través de balizas por cercanía.



Figura 4.7.- Ejemplo del uso de beacons en el interior de un museo.

Algunos beacon desarrollados por grandes empresas serían Eddystone, beacon desarrollado por Google, y iBeacon, desarrollados por Apple, aportando grandes posibilidades de desarrollo a esta tecnología.

Más adelante se analizará el uso de forma combinada y complementaria de la tecnología Wifi y Bluetooth, tratando de esta manera de eliminar las carencias de ambas con sus respectivas cualidades, esto se analizará en el apartado de tecnologías híbridas.

4.3.3. RFID (Radio frequency identification)

Sistema que permite la transmisión, por radio frecuencia, de datos entre un lector y una etiqueta electrónica conocida como e-Tag [19]. El lector pide la información a la etiqueta y esta le envía los datos que posteriormente son interpretados por el lector mediante un sistema informático.

Componentes

Un sistema implantado de RFID constaría como mínimo de dos soportes hardware para su funcionamiento:

-**Etiqueta (e-Tag):** elemento que recibe y transmite información por radiofrecuencia que le solicita el lector.

-**Lector RFID:** equipo que recibe y procesa la información enviada por la etiqueta.

Ambos equipos constan de antenas que les permiten recibir y transmitir la información.

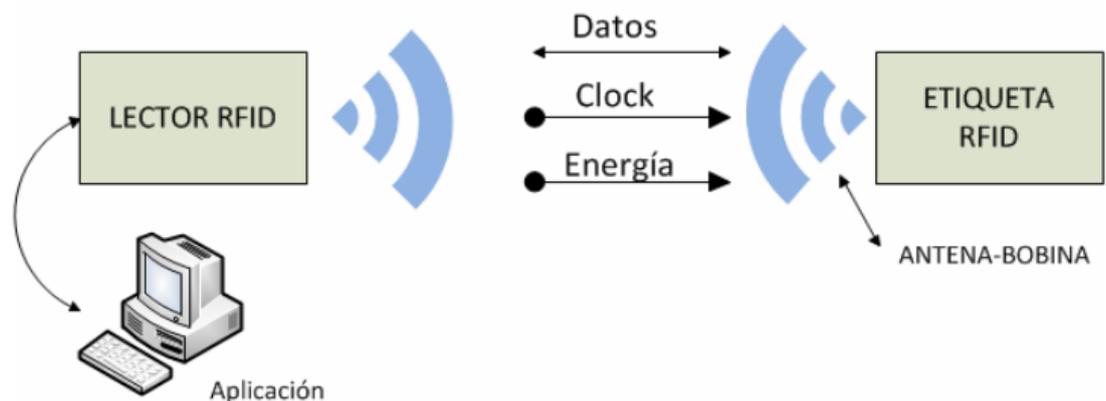


Figura 4.8.-Ejemplo de funcionamiento de un sistema RFID.

Frecuencia

Según la frecuencia utilizada existirán diferentes tipos de sistemas para el uso del RFID.

1. Baja frecuencia (LF): trabajo a una frecuencia de 125 Khz. Utilizado sobre todo para lecturas a corta distancia y una velocidad de transmisión de datos corta.
2. Alta frecuencia (HF): frecuencia de funcionamiento de 13,56MHz. Amplían en cierta manera la distancia de lectura y la velocidad de transmisión de datos
3. Muy alta frecuencia (UHF): Frecuencia de 869 Mhz. Como los anteriores consigue una mejora de transmisión y distancia.
4. Microondas: frecuencia de 2.45 GHz y 5.8 Ghz.

La gran diferencia que aporta el trabajar con las diferentes frecuencias, es que a baja frecuencia la capacidad de transmisión de datos disminuye, pero en cambio las ondas no se ven tan afectadas por líquidos y metales. A diferencia del trabajo a alta frecuencia que te permite una capacidad de transmisión de datos mucho mayor, pero la ondas se ven afectadas por más distorsiones aportadas por otros elementos.

Fuente de energía

Los sistemas RFID pueden diferenciarse según la fuente de energía de los identificadores como:

1. Sistemas activos: Los identificadores se alimentan por pilas y transmiten su propia señal al lector, sin necesidad que de solicitarlo. Siendo muy utilizados como tags para la localización de objetos de gran tamaño.
2. Sistemas pasivos: Los identificadores no tienen fuentes de energía propia, se alimentan externamente a través del lector vía RF. Precisan de la potencia del lector para transmitir su señal.
3. Sistema híbrido: Constaría de una mezcla de los dos sistemas anteriores, un sistema pasivo pero con una batería de asistencia.

Esta tecnología tiene una mayor aplicación en la identificación y situación de objetos en una determinada superficie, consiguiendo de este modo diferente información del objeto que porta la etiqueta y su localización. De esta manera actuaría como un código de barras identificativo pero sin la necesidad de tener un contacto directo con la etiqueta.



Figura 4.9.- Ejemplo de una lectura de objeto mediante Rfid para productos textiles [20].

En el caso de la localización indoor estos sistemas se usarían mediante tags activos, creando una red de lectores que reciban la señal proveniente de los mismos. Los tags suelen ir instalados en objetos a localizar o dispositivos que pueda portar el operario.

4.3.4. ZIGBEE

Especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica de bajo consumo [21]. Su utilidad está enfocada para comunicaciones seguras de baja tasa de envío de datos, lo que, junto con su poca necesidad de sensorización, hace que sea unas de las tecnologías más utilizadas en el sector de la domótica, sector basado en el IOT de objetos de uso diario.

A pesar de que Zigbee es sobre todo un sistema utilizado en viviendas de uso privado [22], también se está implantando en edificios inteligentes y locales comerciales. Un ejemplo del uso del Zigbee es la actual Alexa.

El principal objetivo de esta tecnología es conseguir un consumo energético lo más bajo posible. Zigbee opera en bandas de frecuencia de 2.4 Ghz y 858 Mhz. En cambio es la tecnología que tiene el ratio de envío de datos más bajo, lo que hace que una aplicación en grandes superficies se haga más complicada.

Componentes

Zigbee utiliza 3 tipos de dispositivos para su correcto funcionamiento e implantación:

- **Coordinador:** Se encarga de controlar la red y dirigir la información por los diferentes caminos, únicamente puede existir uno por red.
- **Router:** Conecta los diferentes dispositivos que actúan en la red.
- **Dispositivo final:** Transmite información únicamente al Router o al coordinador, por tanto, duerme la mayor parte del tiempo, consiguiendo un ahorro notable de batería. No se comunicaría con ningún otro tipo de dispositivo externo.

Arquitectura

La topología de estas redes puede variar según las necesidades del consumidor o cliente para adaptarse a los resultados buscados o al entorno donde va ser implantada, dando lugar a tres tipos diferentes de topología:

- **Malla:** Es la más utilizada, en ella los nodos pueden tener una conexión entre ellos y asegura dicha conexión con la posibilidad de llegar al mismo destino a través de diferentes caminos. Conexión multipunto.
- **Estrella:** Topología en la cual todos los dispositivos están únicamente conectados al coordinador.
- **Árbol:** En este caso el coordinador formaría conexiones estableciendo una conexión inicial, mientras que los Router se encargarían de ramificar las conexiones.

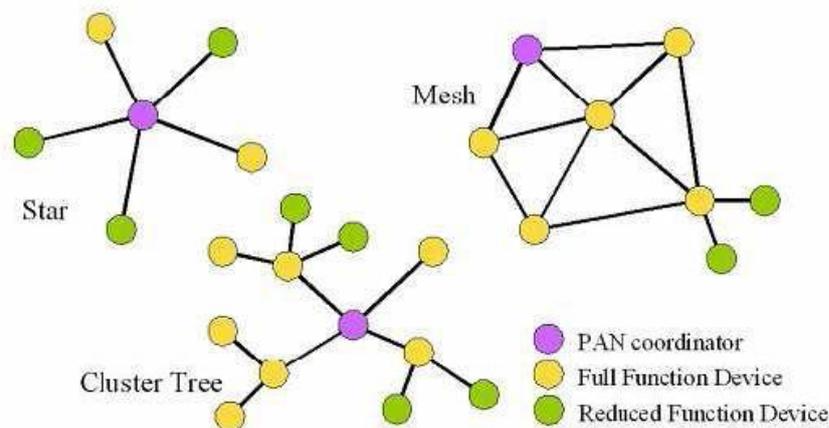


Figura 4.10.- Topologías ZigBee [23].

Esta tecnología, a pesar de que ya está siendo usada para algún sistema de localización, su utilización como tecnología de localización está centrada sobre todo en la domótica del hogar, que es donde se consigue sacar el mejor partido a sus características de baja tasa de envío de datos y ahorro de energía.

4.3.5. UWB (Ultra wavr band)

UWB agruparía todo un conjunto de sistemas que actúen en un amplio rango de frecuencias, o de ancho de banda [24]. Esta tecnología permite medir pulsos aislados de corta duración que pueden ser utilizados para medir distancias con una notable precisión, siendo una de las tecnologías con mayor precisión para la localización indoor.

Las ondas de baja frecuencia son capaces de traspasar paredes y suelos. Especialmente para la localización se emiten pulsos muy cortos ($<1\text{ns}$), con un ciclo bajo (1:1000), utilizando un gran ancho de banda y una frecuencia de 528 Mhz.

Un ejemplo de un sistema comercial basado en UWB es Ubisense Real-Time Location System [25]. Basado en la tecnología UWB, haciendo uso de una red de sensores sincronizados con los receptores y las tarjetas emisoras de las que se daría la localización en tiempo real.

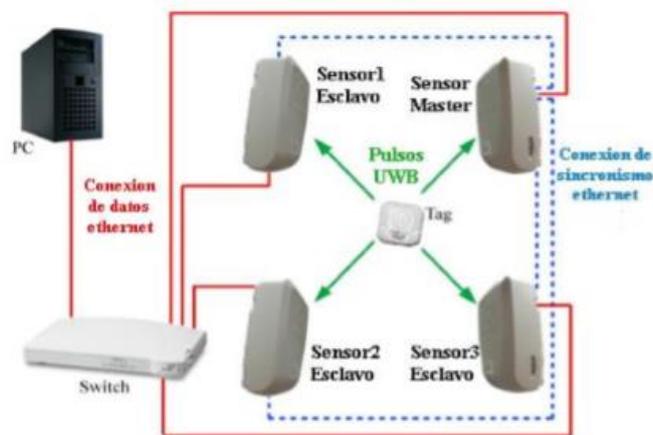


Figura 4.11.-Arquitectura del sistema Ubisense [26].

Otro ejemplo del uso dado a esta tecnología es el proyecto llevado a cabo por Ingeniacity, empresa con sede en Asturias, para ArcelorMittal [27]. Este proyecto plantea conseguir la localización exacta de un dron en el interior de un recinto, usando para ello la tecnología de ultrawideband. El uso de esta tecnología como solución del proyecto es debido a la necesidad de una alta precisión, muy necesaria para el pilotaje en interiores donde un error de centímetros podría ser catastrófico para el aparato. Este último ejemplo de una prueba de lo precisa que puede llegar a ser esta tecnología.

Un análisis de este sistema lleva a obtener diversas ventajas e inconvenientes, en lo relativo a una implantación de localización de este tipo de tecnología:

- Inconveniente: La mejor funcionalidad de este sistema es el uso en espacios de menos tamaño donde su precisión es incluso de centímetros, la necesidad de una instalación completa de nuevos dispositivos [26], por lo que económicamente es una tecnología que para un gran desarrollo de implantación podría resultar excesivo.
- Ventaja: atraviesan suelos y paredes sin sufrir perturbaciones. Además, trabaja por debajo de la zona de la zona de ruido por lo que no se ve afectado por ambientes hostiles en ese sentido, y al actuar en una banda de frecuencia poco utilizada no se ve afectado por otro tipo de tecnología de radio frecuencia.

En resumen, esta tecnología podría aportar una gran precisión, pero a costa de un gran nivel de desarrollo muy dependiente del entorno en el que se pretenda implantar.

4.3.6. Comparativa de los diferentes sistemas con radiofrecuencia.

En este apartado se comparará de una forma más organizada y visual las diferencias entre todas las tecnologías que se basan en la radiofrecuencia, que más adelante será utilizado para llegar a una elección de la tecnología más idónea para el proyecto.

La siguiente tabla muestra los datos técnicos de todas estas tecnologías, además de datos sobre su utilización en sistemas de localización indoor, resaltando las principales virtudes y defectos de cada una, comparativamente, para de esta manera, poder tomar una mejor decisión en la elección de la implantación.

Sistemas	WIFI	Bluetooth	RFID	Zigbee	UWB
Frecuencia	2.4 Ghz 5 Ghz	2.4 Ghz	125 Khz 13,5 Mhz 869 Mhz 2.4 Ghz	2.4 Ghz 858 Mhz	528 Mhz
metodos de localización	Cell-ID TOA TDOA AOA RSSI	Cell-ID RSSI TOA	Cell-ID RSSI	Cell-ID RSSI	TDoA AOA
Precisión	Baja	media	media	media	alta
coste	bajo	bajo	medio	bajo	medio
PROBLEMÁTICA	Precisión algo mas baja que otro tipo de sistemas	Radio de acción limitado	elevada inversión inicial en hardware y baja seguridad	tasa de transferencia baja e incompatibilidad con bluetooth	los materiales metálicos y líquidos causan interferencias en las señales
Sistema comercial	Ekahau	iBeacons zonith	wherenet	- -	Ubisense

Tabla 4.2.-comparativa de los diferentes sistemas a elegir.

En las siguientes figuras se muestra las zonas de actuación de cada una de las tecnologías de radiofrecuencia. La figura que se muestra a continuación representa una comparativa de la velocidad de ancho de banda de cada una de ellas y su diferente zona de actuación, siendo la más rápida el UWB que actúa como WPAN, y como se ha comentado antes ZigBee será la tecnología con menor velocidad de transmisión de datos.

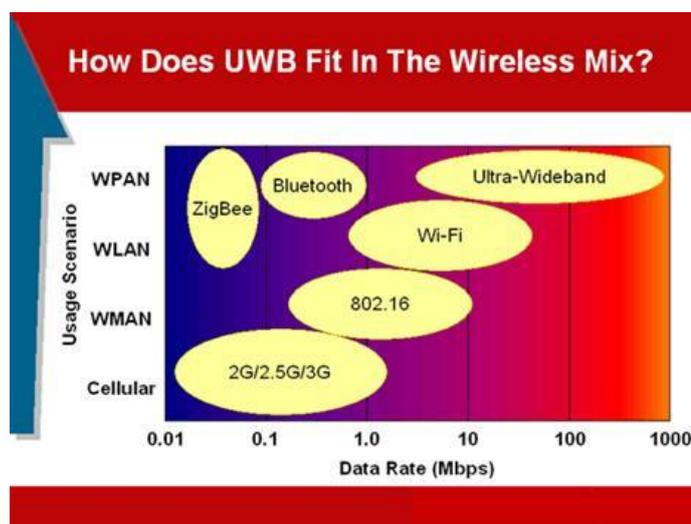


Figura 4.12.- Comparativa de todas las tecnologías según su capacidad.

El análisis de la siguiente imagen muestra la diferencia de actuación dependiente de las diferentes frecuencias, frente a la potencia de señal. También aparece marcado la zona de actuación de ruido.

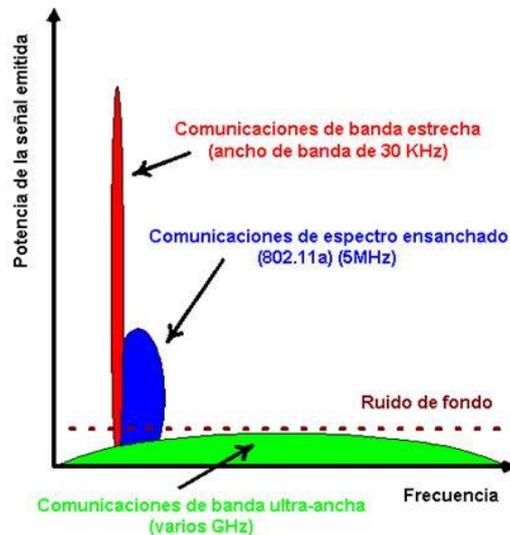


Figura 4.13.- Efecto del ruido según la frecuencia de cada banda.

Se puede comprobar, como se ha comentado anteriormente, que el trabajar con ancho de banda amplio permite mantenerse por debajo de la zona de ruido, consiguiendo mejores resultados en cierto tipo de entornos.

En conclusión, cada una de las tecnologías de radiofrecuencia aporta un tipo diferentes de características y desventajas, todo esto será analizado a la hora de encontrar la que mejor se aceptan a la implantación.

4.4. Ultrasonidos

Se definen como ondas acústicas con una frecuencia superior a la máxima auditiva perceptible, entre 1 y 20 Mhz [28]. Tecnología de posicionamiento de objetos en tres dimensiones con mucha precisión. El sistema más utilizado para la localización en esta tecnología es el “Time Difference of Arrival” (TDoA) con ayuda de diferentes métodos. Existen dos métodos similares que son utilizados para la localización:

-Bat-system. Método mediante la cual a través de nodos instalados en el techo, actuando de receptores, que se encargan de captar el tiempo de señal procedente de los nodos móviles y enviar la información al nodo central (Ordenador).

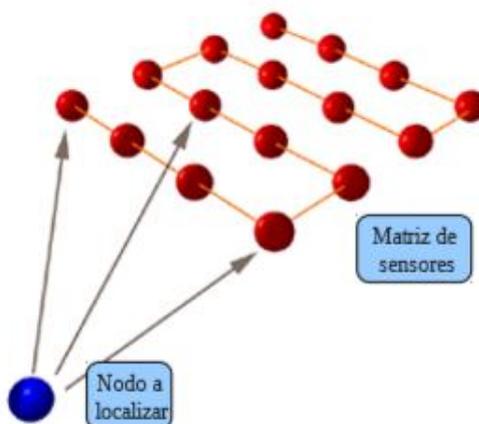


Figura 4.14.-Topología de un sistema Bat-System.

-CriCket. Método similar al bat-system pero que en este caso son los nodos móviles los receptores mientras que los fijos serán los que emitan las señales de ultrasonido.

El principal problema del ultrasonido es la necesidad de una línea de visión directa entre receptor y emisor, si no fuera posible el radio de acción de vería muy reducido. Además esto conllevaría a la realización de una instalación compleja dependiendo de los entornos.

4.5. Infrarrojos

Tecnología basada en la transmisión de datos a través de luz infrarroja. La red de receptores de infrarrojos detecta las insignias, y cada uno emite un único código de infrarrojos.

Su principal problema se basa en su dependencia en el entorno en el que se actúe, donde si resulta de un lugar de gran movimiento podría generar rebotes y dificultará el envío y recepción de la información. Además, el rango corto de señal también es un impedimento para la implantación en entornos amplio, se precisaría de una gran cantidad de sensores y hardware para su adaptación, lo que lo hace una implantación de localización podría llegar a tener un coste económicamente alto.

Estos sensores son más utilizados como sensores de proximidad, con los que poder detectar el movimiento de personas. Es muy utilizado en diversos comercios para el control

y estudio del flujo de consumidores, obteniéndose datos estadísticos de la cantidad de clientes que entran en el local dentro de cierto periodo de tiempo.

4.6. Visión

Sistemas que se basan en cámaras para realizar el seguimiento de localización, usando técnicas de sustracción de fondo y reconocimiento de regiones [26]. Estos sistemas contemplan una gran precisión, pudiendo llegar a ser de incluso 10 cm en algunos casos, teniendo en cuenta que se apliquen en un entorno favorable para ellos. La ventaja de estos sistemas es que no precisan de ningún dispositivo, tag o similar, sino que las cámaras detectan y asignan etiquetas a los usuarios. El problema llega con los cambios bruscos de luz u oclusiones parciales o totales. Generando una gran dificultad para la implantación en entornos industriales, más agresivos de los habituales, cambiantes y con exceso de obstáculos para la visión. Además del uso de instrumentos que generan grandes cambios lumínicos como las soldaduras o máquinas de corte. Otro problema importante es la gran variación entre las precisiones y costes, que varían enormemente según el sistema a utilizar.

La visión es un sistema muy utilizado en campos de futbol para análisis de partidos, pero también se está desarrollando en otros sectores. Algunos ejemplos serían:

- Proyecto easyLiving: Proyecto de Microsoft que trata de desarrollar entornos inteligentes. La meta del proyecto es el desarrollo de un prototipo de arquitectura que facilite la interacción de personas, dispositivos y ordenadores [29]. Esta tecnología tiene una búsqueda de un desarrollo futuro para la domótica en el hogar o puestos de trabajo.
- Sistema kinect- Sensor de profundidad que con ayuda de varias cámaras puede localizar la posición de una persona en 3D. Utilizado sobre todo en consolas, y siendo actualmente desarrollado para el uso en localización.

En resumen, esta tecnología tiene grandes ventajas debido a su gran precisión y al actual desarrollo de la tecnología de cámaras, siendo uno de los sectores más desarrollados hoy en día debido a su potencial comercial. La desventaja de esta tecnología radicaría, como va sucediendo en las anteriores, en el entorno en el cuál se decida implantar.

4.7. Visible light communication (VLC)

VLC es una tecnología basada en la comunicación vía led con una gran importancia en la actualidad, en cierta medida por el hecho del creciente uso de los dispositivos LED por su economía y por otro lado por la creciente demanda de conexión de todos los dispositivos, pero con mucho camino por recorrer en su desarrollo.

El VLC usa un estándar especial para su uso IEEE 802.15.7 con lo que tiene una transferencia de datos de entre 11.67 Kbps y 96 Mbps. De modo que permite la instalación de múltiples antenas de conexión red, sin necesidad de una gran cantidad de aparataje hardware que ocupe espacio y sin la necesidad de una gran cantidad de instalación de cableado, dando respuesta a la demanda de conexión actual en la que cada vez más dispositivos disponen de la posibilidad de conexión a redes.

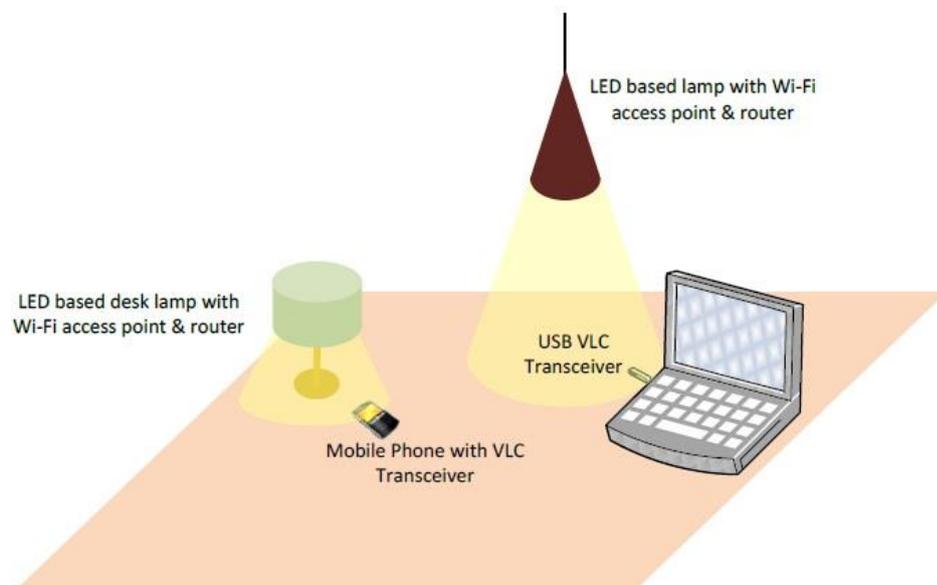


Figura 4.15.-Ejemplos de los diferentes usos del VLC en el hogar.

La base del uso de esta tecnología es usar los LEDs como radiobalizas [30], enviando señales a dispositivos móviles. Esto se realiza con una estrategia RSS, que se explicara posteriormente en este proyecto, con la cual los LEDs enviaran un código de identificación al receptor móvil y este envía las coordenadas de su posición en el interior del local, calculándola mediante la potencia emitida por los identificadores. También puede actuar de forma activa, como sucede en muchos comercios, y no solo enviar

coordenadas de tu localización sino ofertas o guías de localización de los objetos en la tienda.

El principal problema de esta tecnología también forma parte de su principal virtud que es su simpleza, debido a que la potencia de lectura puede verse alterada si existieran varias reflexiones y podría producir interferencias. Para evitar esto, se trata de la búsqueda de una mayor complejidad en la instalación, lo cual hace que económicamente se pueda encarecer el desarrollo de forma que no se haga viable.

En el campo de la localización indoor esta tecnología tiene un gran potencial, y ya está siendo utilizada por grandes superficies, como supermercados o centros comerciales. Carrefour ha sido uno de los primeros en aplicar esta tecnología en uno de sus centros, donde el cliente a través de su APP puede realizar una lista de la compra y ser guiado al lugar en el que se encuentran los productos, ahorrándole tiempo y mejorando la experiencia.

4.8. Tecnologías híbridas.

En este apartado se tratarán diferentes variantes de las tecnologías que se han expuesto anteriormente, usando una combinación de varias para su uso directo en la localización indoor.

Las tecnologías híbridas se basan en la unión diferentes tecnologías de localización para complementarse y mejorar diferentes aspectos. Normalmente una de las tecnologías es considerada más relevante, para la estimación de la localización, mientras que el resto se considerarían complementarias, para reforzar las debilidades de la anterior. Por ejemplo, aumentar el área de detección, mejora de la precisión, adaptación a un entorno determinado....

Estas tecnologías por lo general requerirían de un mayor desarrollo, suponiendo un mayor gasto en ese aspecto que individualmente, principalmente por el hecho de estar implantando más de una tecnología y por el escaso desarrollo que existe, pero en ciertos casos llegan a realizarse grandes mejoras en el ámbito de la localización, llegando a encontrarse una muy buena coordinación entre la mezcla de las diferentes tecnologías. Con

lo que se estarían contraponiendo los factores económicos y la mejora de los resultados, los cuales ante el poco desarrollo de ciertas técnicas todavía estaría por conocer su punto máximo. Por lo cual se consideran soluciones a tener en cuenta de cara al futuro, cuando muchas de ellas se hayan desarrollado por completo.

4.8.1. Bluetooth+Wifi.

Las ventajas de juntar ambas tecnologías son debidas a que no requieren unos grandes recursos de computarización y ambos son sistemas de bajo coste económico, además de ser unos de los implantados hasta el momento en todo el mundo. Para combinar estas tecnologías se propone el uso de huella de potencia para ambos sistemas. Según diversos estudios [31], esta tecnología es 23% más efectivo que Wifi solo, teniendo únicamente un error de 0.77m.

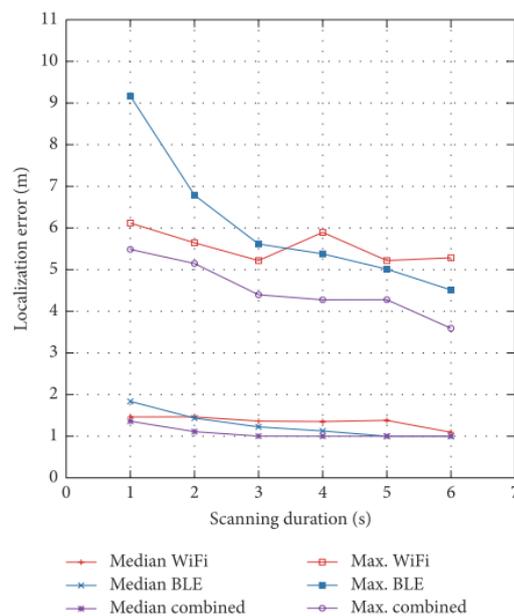


Figura 4.16.- Estudio comparativo de la precisión de tecnología Bluetooth, Wifi y combinada [31].

Los estudios realizados sobre este tipo de sistemas han dado como resultado una gran mejoría en la precisión de la localización, sobre los sistemas que utilizan esas mismas tecnologías por separado, haciendo que esta tecnología sea una de las principales a tener en cuenta en el futuro por su sencillez y resultados.

Por tanto, se concluye que el uso de ambas tecnologías en el futuro podría conseguir eliminar las debilidades de cada una, tanto la precisión de la herramienta Wifi como el área de acción del BLE.

4.8.2. VLC+Ultrasonidos.

Este sistema sigue una estrategia TDoA [32], que se explicará más adelante, y basado en dispositivos cricket, que ya se han explicado con anterioridad en este proyecto, como se muestra a continuación:

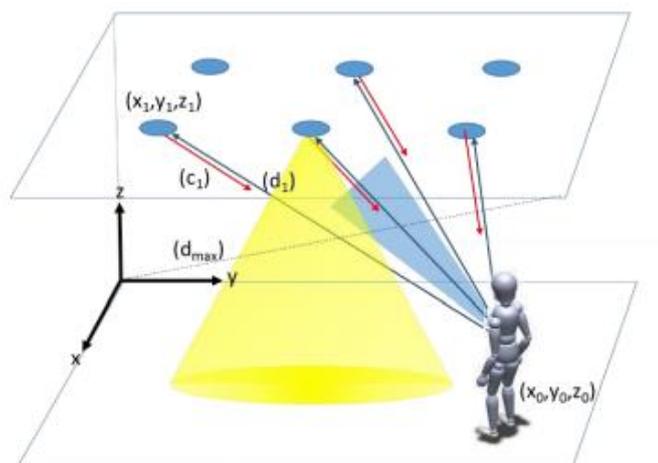


Figura 4.17 .-Esquema del sistema propuesto para una implantación híbrida VLC-Ultrasonido [32].

Se basaría en la instalación por cada lámpara de luz de un sistema de ultrasonido, esto haría que cuando un dispositivo móvil entrase en la sala, este mandara una señal de ultrasonido haciendo que los receptores emitan una señal de activación para proceder al envío de su código óptico y determinar la posición del dispositivo móvil. De esta manera se combinará la precisión del ultrasonido y la capacidad de transmisión de datos de los métodos de VLC.

4.8.3. Infrarrojo + radiofrecuencia.

Posibilidad de uso híbrido entre infrarrojo y radiofrecuencia. Sus etiquetas emiten señales infrarrojas y de radiofrecuencia que contienen un identificador único para cada

operario. Este sistema híbrido encarga a la radio frecuencia la localización en planta, mientras que los infrarrojos son usados para algo más específico como una habitación.

Por tanto, en este caso también se consigue contrarrestar las carencias de ambas tecnologías, usando la precisión de los infrarrojos puntualmente en ciertas áreas, y la radio frecuencia en un espacio más amplio, aprovechando la mayor capacidad de área de dicha técnica.

5. Técnicas de localización.

En este apartado se procederá a analizar todas las técnicas que permiten el cálculo de detección de personas, algunas de estas técnicas serán las que utilicen las diferentes tecnologías expuestas en el capítulo anterior, según los que permitan sus propiedades.

Un listado de estos métodos será:

1. **AOA**- Método de ángulo de llegada (angle of arrival)
2. **RSSI**- Método basado en potencia de señal (Received Signal Strength Indicator)
3. **TOA**-Método de tiempo de llegada (Time of arrival)
4. **TDOA**- Método basado en la diferencia en el tiempo de llegada (Time difference of arrival).
5. **RTOF**-Método basado en el tiempo que tarda en recibir el móvil el mensaje de la estación hasta que esta recibe la respuesta (Round time of flight).
6. **CELL Id**- Identificador de celda.

Estos métodos se dividirán según el factor que sostiene el cálculo de la localización, por lo que serán métodos según ángulo, tiempo y potencia, principalmente.

5.1. Método del ángulo de llegada. (AOA)

Método el cual se encarga de determinar una posición a través del ángulo de la señal incidente, utilizando arrays de antenas, conjunto o agrupación de antenas. El dispositivo envía una señal a la antena y esta puede saber su dirección, midiendo la diferencia de fases.

Para conocer una posición por este método, como mínimo necesitas dos antenas, aunque para una mayor exactitud se necesitarían la mayor cantidad posible, con ambas antenas se podrían obtener dos ángulos de incidencia como se muestra a continuación.

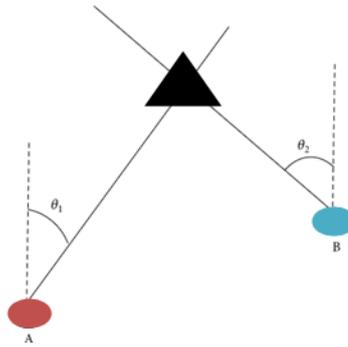


Tabla 5.1.- Triangulación por método AOA.

Con estos ángulos y aplicando trigonometría se obtendría un sistema con dos ecuaciones y dos incógnitas, como el que se muestra a continuación:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{Y} - Y_1 &= (\tilde{X} - X_1) \tan \theta_1 \\ \tilde{Y} - Y_2 &= (\tilde{X} - X_2) \tan \theta_2 \end{aligned} \right\} \quad [5.1]$$

Siendo:

- Y_j : Posición de la antena j en Y.
- X_j : Posición de la antena j en X.
- \tilde{Y} : Posición del dispositivo a localizar en eje Y.
- \tilde{X} : Posición del dispositivo a localizar en el eje X.
- θ_j : Ángulo calculado por diferentes j antenas.

De esta forma se podría obtener en un eje de dos coordenadas la posición de un dispositivo, conociendo la posición de los AP y obteniéndose los ángulos de llegada para j arrays de antenas.

5.2. Método basado en potencia de señal. (RSSI)

El método está basado en la pérdida de potencia que sufre una señal debido al medio de propagación. Una estación recoge la potencia con la que llega una señal, procedente del dispositivo móvil que se desea localizar, como el esquema que se muestra

en el esquema más adelante. Para calcular la posición se necesitará realizar este proceso con tres estaciones (triangulación) para conseguir la posición exacta del dispositivo.

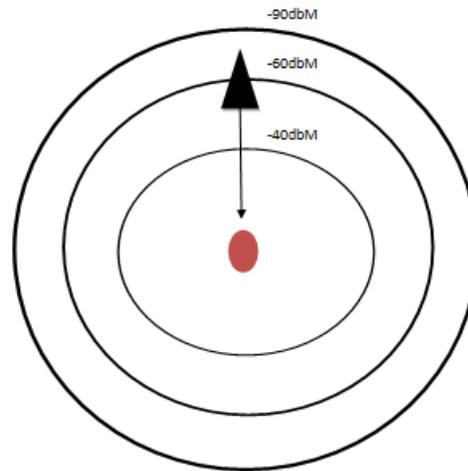


Figura 5.1.- Esquema de funcionamiento del método RSSI.

La precisión de las medidas realizadas disminuye dependiendo de diferentes factores como obstáculos, distancias a las estaciones, paredes, suelos, saturación de canales..., por ello a menudo se necesitan realizar tareas adicionales, que mejoran la precisión en gran medida:

1. **Monitor de radiofrecuencia.** Ayudan a los puntos a accesos descargándoles de trabajo, estos monitores son los que reciben la señal de potencia y liberan de una tarea al acceso, de forma que si la red se encuentra saturada esto no afectaría a la localización. Mejora la obtención de la localización en tiempo real.
2. **Huellas de potencia.** Método de mejora de la precisión basado en dos fases, primera fase de cálculo de la disipación de la potencia en un área, y una segunda fase de obtención de potencia específicamente en puntos de interés, esta potencia se obtiene recorriendo el emplazamiento de la localización, obteniendo y grabando las medidas de potencia en los puntos definidos, haciendo de esta manera un mapeo de potencia. Consiguiéndose así una base de datos con las medidas en posiciones concretas. Mejora notablemente la precisión.

El problema de este método radicaría propiamente en estas tareas, que aunque aumenten notablemente la precisión precisan de un gasto en tiempo y hardware que sin duda se deberá tener en cuenta. A pesar de esto, actualmente los estudios de huella de potencia se realizan de una forma mucho más sencilla que en el pasado con el uso de APP y dispositivos móviles al alcance de cualquier persona.

5.3. Método basado en el tiempo.

Estos métodos se basan en la triangulación de una posición a través del tiempo que tarda en recorrer una señal una cierta distancia. Existen tres tipos de cálculos de localización basados en tiempo.

5.3.1. Tiempo de llegada. (TOA)

Se basa en la medida del tiempo que tarda una señal en ser transmitida por un terminal móvil hasta las diferentes estaciones. Para realizar una localización adecuada es necesario obtener tiempos en al menos 3 estaciones fijas y conocidas. Los datos se transmiten y se calcula la localización mediante triangulación circular, usando circunferencias cuyo centro se sitúa en la estación e intersecan en el punto de localización del dispositivo que emite la señal. En este método será muy importante la sincronización entre estaciones y dispositivos para la precisión, que será el principal problema del uso de este método.

A continuación, se muestra un esquema del funcionamiento del método, siendo $\{X, Y\}$, la posición del dispositivo a calcular por las tres estaciones de posición conocida: $\{x_1, y_1\}$, $\{x_2, y_2\}$, $\{x_3, y_3\}$. Se ve como las circunferencias marcan los puntos a los que podría pertenecer la señal, según el tiempo de envío, y marca el lugar donde se interconectan las 3 circunferencias como la posición del dispositivo.

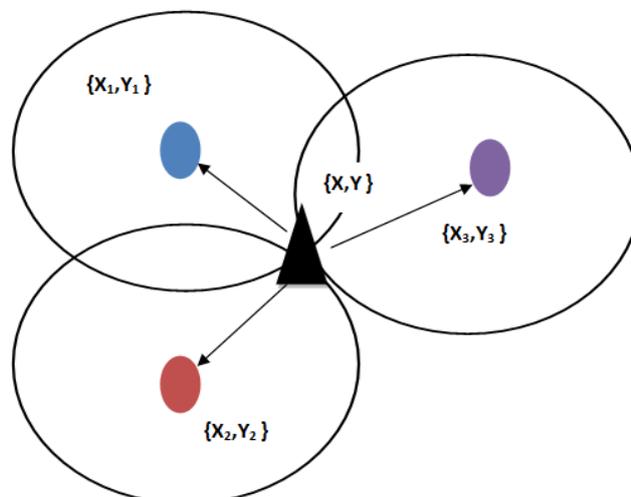


Figura 5.2.-Esquema de funcionamiento TOA.

En el caso de que los AP y el dispositivo no estuviesen sincronizados, se tendría que el cálculo estimado del tiempo de llegada de la señal a un acces point sería distinto a la de otro, dando lugar a diferentes cálculos de la distancia según tiempo y diferentes puntos de intersección, generando una inexactitud en la posición.

5.3.2. Diferencia en el tiempo de llegada. (TDOA)

Técnica que utiliza la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal a las estaciones para determinar la posición del aparato móvil. Realizando la diferencia de tiempos entre varios pares de estaciones obtendrás la posición del punto a localizar en la intersección. Este método elimina la necesidad de la sincronización entre móvil y estaciones, pero si tendrán que estar sincronizadas entre ellas.

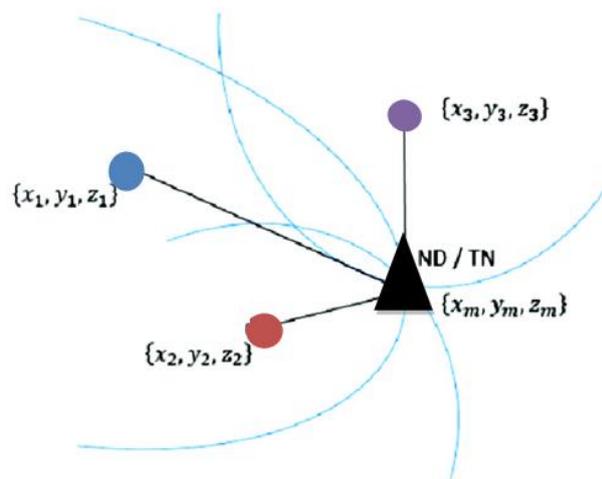


Figura 5.3.-Esquema de funcionamiento TDOA.

Como se ve en el esquema, el resultado de calcular estas diferencias de tiempo son una serie de puntos, que forman una parábola, en los cuales podría encontrarse el dispositivo. De esta forma el punto de intersección entre tres de estas parábolas confirma el lugar donde se encontraría el dispositivo.

La ventaja de este sistema radica en que la sincronización entre dispositivos y estaciones se elimina, ya que al realizar el cálculo de la diferencia de tiempos entre estaciones eliminamos el error de la desincronización del dispositivo, por lo que cobra importancia únicamente la sincronización entre estaciones.

5.3.3. Round time of flight (RTOF).

Sistema que se basa en la medida de tiempo entre el envío de paquetes de datos, desde la estación al terminal móvil, y la recepción de la respuesta del móvil en la estación. Esto permite la obtención de una distancia entre ambos y de la posible localización del dispositivo móvil, de forma similar al TOA. Problema de este sistema es el tiempo que tarde el móvil en procesar la información, ya que la estación no sabe ese tiempo. Este problema no resulta de importancia y se puede obviar para grandes distancias, en cambio en distancias cortas tiene muy poca precisión.

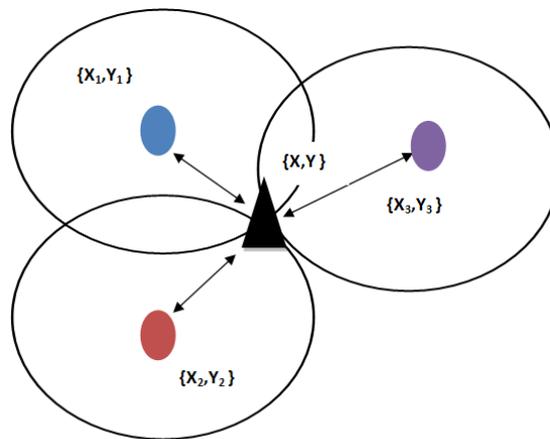


Figura 5.4.-Esquema de funcionamiento RTOF.

Este método a pesar de ser muy similar al TOA en cuanto a metodología, en este caso la sincronización perdería mucha más importancia que en el resto de métodos basados en tiempo.

5.4. Método basado en identificador de celda.

Método muy sencillo pero muy poco preciso. El método se basa de la división del área en celdas en las que la precisión va acompañada al tamaño de celda, que puede variar entre los 500 m y 10 km. Este método se basa en la obtención de la celda en la cual se encuentra el dispositivo, el cual tiene una ID de identificación.

Introduciendo algunas mejoras se puede conseguir una mayor precisión. Si se realiza una sectorización de la celda, se puede obtener una mayor precisión (120°), ya que se fragmentaría el radio de acción, y si a esto le añades un timing advance para medir el



tiempo de señal recorrido, recortando la posición en la que se encuentra, la precisión se consigue mejorar en gran medida.

6. Material presente en la empresa

En este apartado se citarán y analizarán los bienes ya instalados previamente en la empresa, dado que económicamente, para que la implantación dé el mejor rendimiento posible, se ha de tener en cuenta todo material ya adquirido y aprovechar la tecnología ya implantada.

Lo primero será tener en cuenta el sistema PDA, que ya se implanto hace cierto tiempo en la empresa, de forma que cada trabajador, en casi todos los casos, utiliza una única PDA para fichar, existirán otros casos que se analizarán más adelante. Tras esto se analizará el tipo de Wifi que ya se utiliza en talleres para transmitir información desde las PDA, ya que este podría servir para también transmitir información a la hora de realizar la implantación de la localización indoor.

6.1. PDA

La PDA se define como una computadora de bolsillo, que sirve como asistente móvil. Siendo usada en sus inicios como agenda y asistente en el trabajo, hoy en día ha terminado por ser sustituida en ese entorno por los teléfonos móviles, por este motivo sus cualidades se han ido adaptando a lo largo del tiempo para entrar en otro tipo de mercados.

Este apartado se expondrá la utilización y las cualidades de la PDA que se está actualmente utilizando en los talleres de la empresa, y que serán de gran utilidad en la realización del proyecto como posibles dispositivos de localización.

6.1.1. Utilización en la empresa

Actualmente en la empresa todo operario que está actuando en los talleres ha de portar una PDA, Personal Digital Assistant. Esta es utilizada para fichar, y a su vez como herramienta de chequeo de máquinas y comunicación, a través de una aplicación instalada y desarrollada por la empresa. Cada una de estas PDA están asignadas de la forma que se indica a continuación:

1. Máquinas cuyo funcionamiento es a turnos, en cuyo caso se usa una PDA para cada dos trabajadores que utilicen la máquina, un trabajador por turno y misma PDA.
2. El uso de la sierra: La sierra tiene una PDA propia que usara el trabajador que está operando en ella en ese momento.
3. El resto de casos cada PDA será portada por cada trabajador.

Estos datos serán importantes en un futuro desarrollo, a la hora de la gestión de la información que podría aportar la señal emitida por las PDA en la localización. La situación en el primero de los casos haría que se utilizará una PDA para cada dos operarios trabajando a turnos, este caso se da en 3 máquinas diferentes.

Se tienen un total de 50 PDA propiedad de la empresa, estas estarán distribuidas entre los diferentes talleres, según la carga de trabajo, sobre todo en los talleres de mecanizado y calderería.

6.1.2. Ficha técnica PDA-EDA 50-111

La PDA utilizada es de la marca ScanPal, siendo el modelo EDA 50-111, mostrado en la figura a continuación.



Figura 6.1.- Modelo PDA de Honeywell Scanpal EDA50 [33].

Las cualidades físicas son la idóneas para el entorno en el que trabaja, tiene unas dimensiones de 153,5mm x 78,9mm x 18mm, idóneas para los bolsillos de la indumentaria

de los operarios. Además, está diseñada para poder soportar golpes y caídas propias de estos entornos.

Analizando la ficha técnica, se destaca entre sus características aquellas que podrían resultar de utilidad en este proyecto [33]:

- **Wifi WLAN.** Con protocolos IEEE 802.11 a/b/g/n.
- **Bluetooth 4.0.** Este tipo de Bluetooth incluye el Bluetooth Smart, conteniendo los protocolos de Bluetooth clásico, Bluetooth HS y Bluetooth low energy. Es el que más tasas de envío de datos permite, entre 25 Mbps hasta 32 Mbps [17].
- Protocolos compatibles con **GPS:** Receptor GNSS, GLONASS y Compass.
- Autonomía de batería: 12 horas.
- Tiempo de carga: 4 horas.
- Sistema operativo **Android** 4.4.4.
- Memoria RAM de 2 GB.

Estas características serán de gran importancia para el buen desarrollo del proyecto destacando las características de Bluetooth 4.0 y la WLAN. También destaca la autonomía de batería que permitirá el uso de la PDA durante los turnos y permitirá el uso de recursos del dispositivo para una posible localización, sin peligrar el consumo de batería.

6.2. Access Point

En este apartado se explicarán las características técnicas de las conexiones de las que se sirve en la empresa, para transmitir la información. En la empresa existirán dos tipos de Wifi, divididos en 8 unidades dentro de los talleres. Todas estas estaciones están diseñadas para un uso industrial, son aparatos resistentes con una buena transmisión de señal para este tipo de entornos.

A continuación, se tratarán los dos tipos de estaciones por separado, analizando sus fichas técnicas y su potencial de cara al proyecto. También se situarán mediante los planos la situación de los mismos dentro los talleres.

6.2.1. ARUBA IAP-103

Las unidades de esta estación Wifi son 6, distribuidas por los diferentes talleres. Los datos técnicos a destacar, para el proyecto, de este AP, serán:

- Velocidad máxima 300 Mbps [34].
- Posibilidad de elección de modos de funcionamiento:
Modo gestión por controlador- Gestionando apoyado en Aruba mobility controllers.
Modo Aruba Instant- Sin controlador. Un solo AP distribuye de forma automática la configuración de red a otros AP Instant de la Wlan.
- Antenas: Dos antenas omnidireccionales.
- Interfaz Ethernet 10/100/1000BASE-T.
- Protocolo: 802.11-n.

Esta estación permite una velocidad de 300 Mbps, en sus dos frecuencias. También permite uno de los protocolos más actuales, y la posibilidad de gestionar la red a través de un controlador, si eso fuera necesario, para descongestionar el flujo de datos sobre uno de los canales para el intercambio de información o que se gestione de forma automática.

6.2.2. ARUBA IAP-207

De este AP se tienen actualmente 2 unidades instaladas en los talleres, cuyas características técnicas a tener en cuenta serán:

- Velocidad máxima de datos de 867 Mbps en banda de 5 Ghz u 400 Mbps en banda de 2.4 GHz [35].
- Aruba Bluetooth beacon integrado. Localización por baliza (BLE).
- Posibilidad de elección de modos de funcionamiento:
Modo gestión por controlador- Gestionando apoyado en Aruba mobility controllers.
Modo Aruba Instant- Sin controlador. Un solo AP distribuye de forma automática la configuración de red a otros AP Instant de la Wlan.
- AP remoto (RAP)- Implementación en sucursales.
- Air monitor (AM) para IDS inalámbrico, detección y contención.
- Antenas: Dos antenas omnidireccionales.

- Radio Bluetooth- Potencia de transmisión de 3 dBm (clase 2), antena integrada con unos 30 grados ganancia máxima de 2.2 dBi.
- Interfaz Ethernet 10/100/1000BASE-T.
- Protocolo: 802.11-ac.

Estos dispositivos son de mayor calidad que los anteriormente expuestos. En este caso se destaca la velocidad de transmisión de datos, que aumenta respecto a los anteriores en gran manera, siendo más del doble en la banda de los 5 Ghz, ya que en este caso se tiene uno de los protocolos más avanzados. También te permite controlar las redes de forma manual o automática, con posibles utilidades dependiendo del flujo de datos. Se podría destacar también que en este caso la estación tiene la posibilidad de actuar como baliza Bluetooth.

6.2.3. Situación de Access Point en los talleres

En este apartado se expondrán los planos resaltando la situación de los actuales AP, y los posibles puntos de conexión. Esto permitirá conocer el estado actual de los talleres y la posibilidad de actualizaciones que podrían ser necesarias en una posible implantación.

En estos planos se encuentran marcados los puntos de acceso Wifi como “w” y los puntos de acceso a red como “t”, junto con el número que sirva de diferenciador entre los mismos.

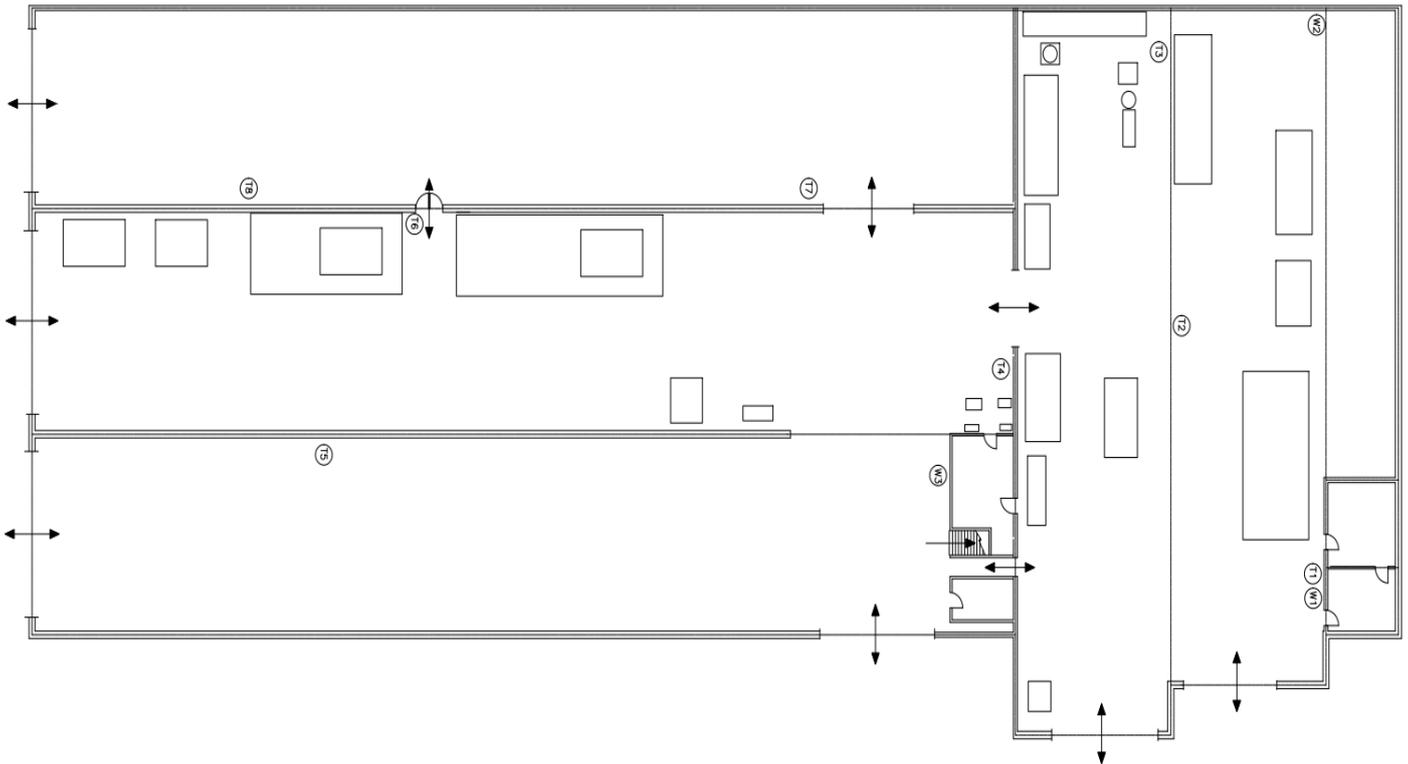


Figura 6.2.-Plano de conexiones del taller de mecanizado.

El primer plano será el taller de mecanizado, en el se muestran 3 estaciones Wifi y 8 puntos de conexión. Esto podría aportar cierta ventaja a la hora de aumentar la capacidad de red de este taller de forma que no se precise de un gran desarrollo de cableado.

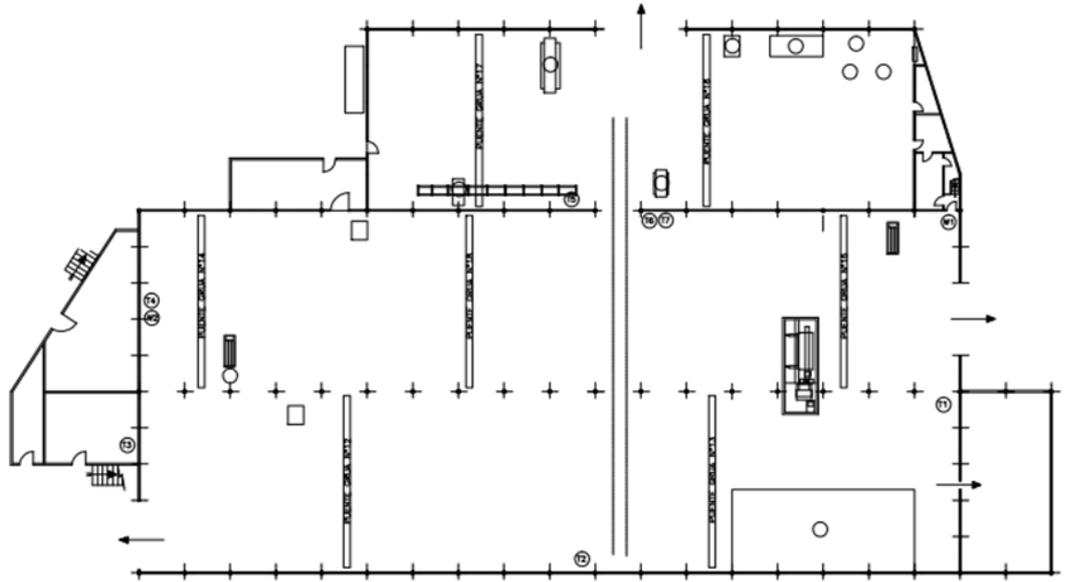


Figura 6.3.-Plano de conexiones del taller de calderería.

En este plano se muestra el taller de calderería que contaría con 7 tomas de red, que se podrían tener en cuenta en un futuro desarrollo de redes, y 2 redes Wifi actualmente. Teniendo una más que no se encuentra activa en estos momentos en la planta.

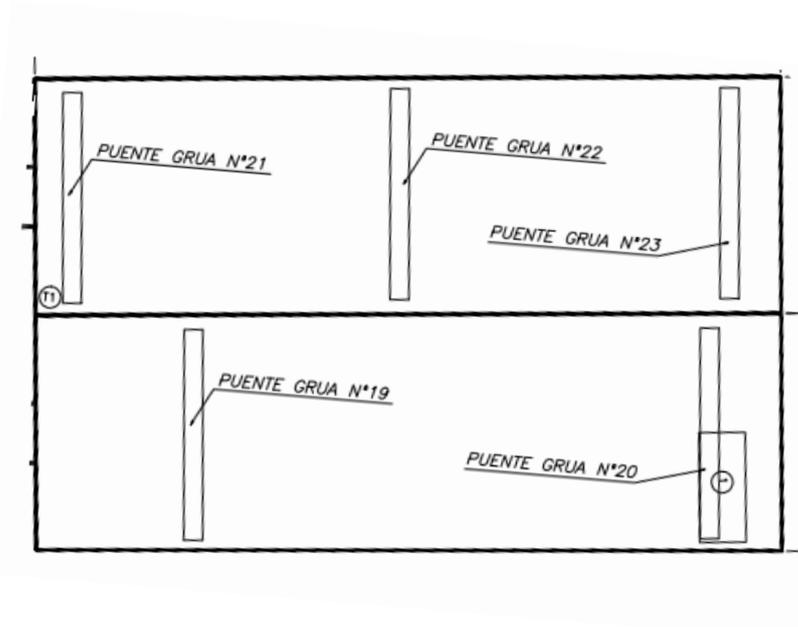


Figura 6.4.- Plano de las conexiones de taller de naval.

Como puede verse en el plano, en el taller de naval no existiría ninguna estación conectada a la red, aunque se contaría con una toma de red.

A continuación, se mostrará el Último plano, perteneciente al taller de plásticos, en el cual se contará en la zona 1, oficinas, con una conexión de red y una conexión Wifi.

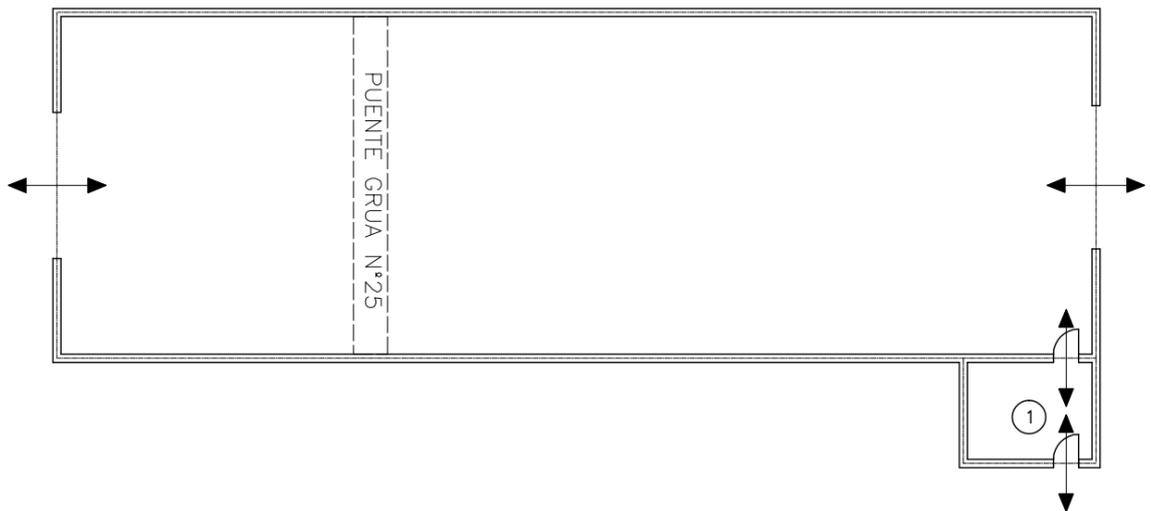


Figura 6.5.-Plano de las conexiones de taller de plástico

En conclusión, se tiene que los talleres principales de mecanizado y calderería tienen una conexión red muy avanzada y la posibilidad de realizar muchos avances, sin tener que realizar una gran operación de instalación de cableado, sin embargo, los talleres de naval y plástico, si se encuentra en un estado inferior a los dos primeros, pero también con diferentes posibilidades a tener en cuenta.

7. Elección del sistema

En este apartado se realizará la eliminación de alguna de las tecnologías expuestas anteriormente por diversos motivos y servirá para realizar la elección de la más óptima para las necesidades de la empresa. Principalmente se tendrá en cuenta factores del entorno y aprovechamiento de dispositivos ya instalados en la empresa haciendo consiguiéndose de esta manera un equilibrio económico y tecnológico.

Tras exponer todos los métodos, tecnologías y bienes presentes en la empresa, finalmente se tendrá que decidir entre:

1. Radio frecuencia.
2. Visión.
3. Infrarrojos.
4. Ultrasonidos.
5. UWB.
6. VLC.
7. Híbridas.

Visión: Esta tecnología quedaría descartada debido a que precisa de un entorno más constante sin cambios ni obstáculos que impidan el seguimiento en planta, siendo el entorno de implantación un taller de construcción, de bienes de medio y grande tamaño, esto lo convierte en un entorno desfavorable para este tipo de tecnología, tanto por suciedad como por objetos. Además, los sensores de visión actualmente son sensibles a cambios bruscos de luz o destello por lo que el uso de cierta instrumentación, como máquinas para soldar o de corte, puede producir daños y errores de precisión en este tipo de sistemas.

Infrarrojos: Este es otro sistema que resulta muy dependiente del entorno, por tanto, cualquier tecnología que utilizase este tipo de sistemas quedará prácticamente descartada. Como en la anterior tecnología, esta podría verse muy afectada por el gran movimiento de bienes y materia prima que se lleva a cabo en el transcurso de un día laboral en el taller, además de la necesidad de una gran cercanía para poder realizar la detección lo que imposibilita una implantación realista en un taller de estas dimensiones.

Ultrasonidos: Este ha resultado ser un sistema muy interesante de implantación por su nivel de precisión, pero una implantación a gran escala resulta excesivamente compleja a la hora de los resultados que se precisan obtener, seguimiento continuo de personal por

todo el taller, pudiendo llegar a ser un buen complemento junto con otras tecnologías, realizando implantaciones en lugares más específicos de cara al futuro, por ejemplo, aplicado a pequeñas zonas de trabajo.

UWB: Uno de los sistemas más precisos que sufre de los mismos problemas que la tecnología expuesta anteriormente, a la hora de realizar una implantación a una gran escala surgen problemas, y en ciertos casos esta tecnología se ve afectada por materiales metálicos.

VLC: A pesar de resultar una de las tecnologías con mayor potencial, y ya en uso en algunas empresas, además de una de las de menor coste, ya que el uso de LED es una tecnología muy económica y permite obtener un gran ahorro potencial en el futuro, y con la posibilidad de realizar un aprovechamiento de las PDA utilizadas ya en el taller. Su implantación en un entorno como el industrial, en el que se plantea el proyecto, podría no dar el resultado esperado por diversos motivos. Un factor a tener en cuenta sería la instalación de todos los dispositivos LED en el interior de los talleres, que acarrearía una dificultad extra debido a su tamaño y a las instalaciones actuales en funcionamiento, pero el principal causante del fallo de esta tecnología, en este entorno, serían las diferentes interferencias lumínicas causadas por focos del taller, materiales metálicos o procesos como la soldadura, esto dispararía la imprecisión de esta tecnología, haciendo que fuera de muy poca utilidad en el entorno, además de todas las posibles interferencias y reflexiones.

Híbridas: Algunos de estos sistemas podrían llegar a aportar buenos resultados y grandes avances, pero la complicación técnica y su poco desarrollo, en la actualidad, genera dudas sobre los resultados inmediatos de las implantaciones en un entorno industrial. Por tanto, actualmente se requeriría un gran desarrollo para cualquiera de estas tecnologías, pudiéndose no llegar a un resultado esperado y complicándose la implantación tanto técnica y económicamente.

Radio frecuencia: Esta tecnología es la que más variantes llega a tener en el sector de localización indoor y son aquellas de las más usadas en el sector y por tanto las más desarrolladas de todas. Esto es debido a que resulta una de las más usadas y por tanto de las que más desarrollo tiene en los últimos años. En este apartado se ha hablado de:

- Wifi
- Rfid
- Zigbee

- Bluetooth

Entre todas ellas, la primera que se ha descartado como una opción posible será el Zigbee, Esta tecnología ha sido desarrollada más con vistas a la domótica y a entornos pequeños, poco agresivos y estables, sin grandes cambios en el tiempo, y de cara al ahorro de batería con una gran mejora en el consumo y la autonomía de los dispositivos utilizados.

En el caso de este proyecto las más interesantes resultarían ser Wifi, Rfid y Bluetooth. Tras ver cual serán los sistemas más óptimos para el proyecto, según el entorno, se tendrá en cuenta los materiales y bienes presentes en la empresa. Este factor descartaría en cierta manera la tecnología Rfid, que estaría más dirigida al control de producto en almacenes, ya que precisaría de una inversión completa en infraestructura tanto de antena como de tag de seguimiento, aunque estos últimos si podrían ir instalados en las PDA, lo que la haría una implantación menos rentable que las siguientes. En cambio, el Wifi y el Bluetooth son totalmente compatibles con los bienes de la empresa que ya cuentan con PDA para cada operario, cuyas especificaciones incluyen posibilidad de conexiones tanto Wifi como Bluetooth como anteriormente se ha explicado, y de instalaciones de estaciones Wifi ya en planta en prácticamente todos los talleres, dotando de una gran accesibilidad de estas tecnologías para la implantación. Finalmente, se determina que el Wifi sería la mejor opción de implantación, ya que pese a su menor precisión frente al Bluetooth, siempre teniendo en cuenta que esta puede llegar a ser mejorada, el área de actuación y la potencia de transmisión de datos de las estaciones Wifi se plantea como un factor determinante para la elección final.

Además, una de las grandes ventajas que proporciona la tecnología Wifi es la posibilidad de poder valorar diferentes métodos de triangulación, ya que es adaptable a la mayoría de ellos. Los métodos anteriormente explicados son:

- Basado en ángulo de llegada.
- Basados en potencia.
- Basados en tiempo.

El primero de estos métodos tendrá una dependencia directa con el tipo de AP a utilizar, ya que en el cálculo del ángulo de llegada precisa de un array de antenas, lo que significa que los AP deberán tener un conjunto de antenas por lo que quedaría descartado para su utilización.

En el caso de los métodos basados en tiempo se tendrá una gran dependencia de la sincronía entre las estaciones y todos los dispositivos, lo que lleva a hacer el sistema más complejo, pudiendo llegar a tener problemas de desarrollo y a ser afectados por el entorno de forma significativa.

Los métodos basados en potencia tienen una baja precisión si no se acompaña con otros procesos de mejora, pero una vez realizados este tipo de procesos para mejorar la precisión el funcionamiento de este tipo de métodos resulta muy efectivo y puede reducir la influencia frente al entorno que lo rodea.

Comparando ambos métodos, la opción del método basado en potencia, acompañado con medidas de huella de potencia, sería el método que mejores resultados aportaría actualmente, tanto en complejidad como en mejora de precisión, ya que se consigue en cierto modo aislar el entorno del sistema con el mapeo y mejorar la precisión, siendo este método uno de los más comunes en implantación de localización vía Wifi y por lo tanto uno de los más avanzados en cuanto a desarrollo. En conclusión sería el método a tener en cuenta para la implantación del LSI.

8. Diseño prototipo

En este apartado se tratará el diseño para la implantación de un prototipo de la implantación de la tecnología elegida, que ayude a tomar la decisión de la implantación y poder permitir obtener unas conclusiones y toda la información necesaria para tomar la decisión de la realización de la implantación completa, de esta forma se podrá hacer una valoración de las fortalezas y debilidades del sistema en los talleres en la actualidad y en el futuro.

El diseño del prototipo se estudiará en los talleres de mecanizado y calderería mediante un análisis de redes, ya que son los que constan con la mayor red de estaciones, mientras que se tratará de buscar soluciones para el resto de talleres, teniendo en cuenta que en la actualidad cuentan con una red de comunicaciones menor y que son talleres de menor tamaño.

El diseño se basará en un análisis inicial de las opciones de software a implantar, que mejor rendimiento darían según una serie de factores a tener en cuenta. Tras esto se realizará un análisis de redes actuales en los talleres, para comprobar si son las suficientes para una localización, comprobándose si en algún área del mismo pudiera realizarse una prueba del sistema con los hardware actuales, a través de la realización de un mapeo de potencia en puntos clave, y por último se realizará la búsqueda del número de AP que se precisarían en orden de realizar la implantación y la búsqueda de diferentes soluciones de cara a los demás talleres.

8.1. Software de localización

En este apartado se describen las distintas soluciones software que pueden tener un funcionamiento correcto en el entorno donde se van a implantar, siendo posible en el futuro su desarrollo de forma más completa.

Para este apartado se tiene los ejemplos de sistemas comerciales, con los que se podría usar para un desarrollo de un prototipo, y que cumplen diferentes factores marcados. Las propuestas, que más adelante se desarrollarán en detalle, serían:

- Ekahau: Programa que precisa de tres, módulos o elementos, a partir de los cuales se desarrollará la implantación. Únicamente sería preciso un software client para realizar el seguimiento, un software de position engine que permita los cálculos de posición y el software manager que permite la visualización del dispositivo que contenga el software client instalado.
- Aruba- software que precisa de dos, elementos o aplicaciones, que irían instalados tanto en el dispositivo móvil como en el dispositivo de visualización, junto con el desarrollo de una herramienta de cálculo de análisis de datos.
- Situm- software único que se instalaría en el dispositivo móvil y da la posibilidad, a través de un programa de la misma plataforma, de realizar el seguimiento online.

En este caso, cada uno de estos software podría cumplir, según sus características, todos los objetivos marcados, se podría usar cualquiera de los programas para la implantación, comenzando con el desarrollo a pequeña escala de la implantación, según la decisión tomada. De esta manera se podría realizar unas pruebas llegando a unas mejoras del servicio de la implantación, con la menor repercusión económica posible.

Más adelante en este apartado, se tratará de exponer diferentes opciones a tener en cuenta, para la implantación de la localización dentro de los talleres, de forma más detallada y los factores que se tienen en cuenta para valorarlas. Además, se realizará una explicación teórica de ciertos aspectos. Al final del capítulo se realizará una valoración de todas las opciones, y se tendrán en cuenta para el diseño del prototipo.

En este apartado se buscará cumplir una serie de factores marcados a lo largo de todo el proyecto y que los software deberían cumplir en su mayoría, se podrían resumir en:

- Mejor adaptación a infraestructura presente en la empresa.
- Posibilidad de observación en tiempo real de movimiento en el taller.
- Obtención huella de calor de los movimientos a lo largo de la jornada.
- Procesamiento de gran cantidad de datos para un posterior análisis.

A continuación, antes de realizarse un análisis y valoración de estas opciones, se expondrá una parte de teoría inicial, para una mejor comprensión del desarrollo que se podría llevar a cabo con cada una de ellas y las posibilidades que ofrecen.

8.1.1. Programación

En este apartado se tratará de mostrar, en cierta medida, la base de programación necesaria para poder analizar las diferentes opciones aportadas y comprender lo que a continuación ofrecerán los software, para ello será necesario definir el uso de dos tipos de bibliotecas de programación: **API** y **SDK**.

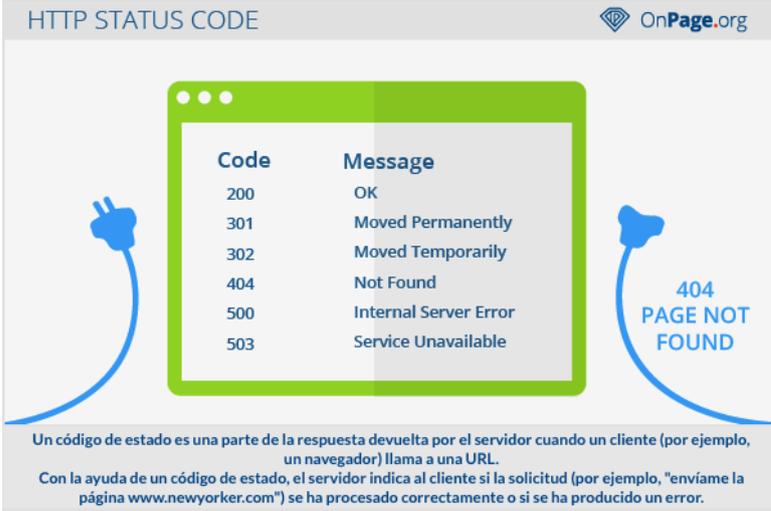
Estas herramientas lo que permitirían sería la selección de los datos obtenidos por los software, que nos permitirán obtener la información necesaria, y procesarla para dar los resultados buscados por la implantación de localización, y mostrarla de una forma sencilla que permita el análisis de la información.

API: Interfaz empleada en el desarrollo y programación de aplicaciones, permitiendo que el desarrollador pueda efectuar interacciones con diferentes plataformas. Teniendo un buen funcionamiento siendo usado para la interacción con el sistema operativo, entre base de datos y protocolos.

Los API usan códigos de estado **HTTP**: Este código representa parte de la respuesta devuelta por el servidor cuando un usuario lanza una URL (como ocurre en los navegadores). Esta respuesta da información sobre si la solicitud se procesa correctamente. Estos códigos hacen referencia a diferentes sucesos según el número por el que empiecen, el cual también usan como clasificador.

- Primera clase: 1**, códigos que tienen la información para el procesamiento y se envían con la solicitud.
- Segunda clase: 2**, Operación llevada con éxito.
- Tercera clase: 3**, Representa una redirección, a otro emplazamiento o la nueva solicitud a enviar para la redirección.
- Cuarta clase: 4**, representa un error cometido por el usuario.
- Quinta clase: 5**, representa un error cometido por el servidor.
- Novena clase: 9**, cubre códigos standard y en propiedad.

Algunos ejemplos más utilizados de códigos de estado HTTP se muestran en la figura a continuación.



The image shows a screenshot of the OnPage.org website displaying common HTTP status codes. The page title is 'HTTP STATUS CODE' and the OnPage.org logo is in the top right. A central table lists codes and their messages. To the left is a blue plug icon, and to the right is a blue cloud icon with '404 PAGE NOT FOUND' written next to it. Below the table is a paragraph explaining what an HTTP status code is.

Code	Message
200	OK
301	Moved Permanently
302	Moved Temporarily
404	Not Found
500	Internal Server Error
503	Service Unavailable

Un código de estado es una parte de la respuesta devuelta por el servidor cuando un cliente (por ejemplo, un navegador) llama a una URL.
Con la ayuda de un código de estado, el servidor indica al cliente si la solicitud (por ejemplo, "envíame la página www.newyorker.com") se ha procesado correctamente o si se ha producido un error.

Figura 8.1.- Ejemplos de código HTTP más comunes.

SDK: Kit de desarrollo, Software Development Kit, que ejecuta el software, desarrollo de aplicaciones de uso exclusivo de plataformas particulares. Además, es una herramienta que puede compatibilizarse y combinarse con la anteriormente nombrada, API.

Los diferentes tipos de SDK vienen supeditados a la plataforma en particular para la cual programan. Un ejemplo de esto puede ser los SDK de Microsoft, Ubuntu, Android o Java.

8.1.2. Aruba

Aruba es una empresa tecnológica dedicada al internet de las cosas, IOT, y soluciones de movilidad. También ofrecen servicios de infraestructura de redes, que además son las ya instaladas en los talleres.

La implantación constaría de dos Software cuya ficha técnica se expondrá más adelante. El primero de ellos es ALE (Aruba Analytics and Location Engine). Este está diseñado para trabajar apoyado en otros software, su labor se basa en la recopilación de información y datos que podría poner a disposición de un tercero que aporte más información adicional al sistema, esto podría dar pie a un desarrollo más completo. El uso de estos terceros podría ser usado para adaptar los datos al usuario y poder conseguir huellas de calor, tiempos de estancia... Con datos adicionales, como datos personales e

individuales de cada operario, con lo cual se podría programar en función de los datos que se quieran obtener.

El otro sería el Airwave, que actuaría como una herramienta para la gestión y monitorización de los datos, contenido en un módulo de posicionamiento de usuarios y de los puntos de acceso (VisualRF). Por sí solo, únicamente es una herramienta meramente informativa no analítica que está sujeta a errores, en cambio el uso combinado con el ALE permite, a través de diversos algoritmos y desarrollo de APIs, tener una mayor exactitud.

Por lo tanto, la unión de estos dos programas aportados por Aruba daría como resultado una localización en planta con muchas posibilidades de desarrollo, y a su vez con una gran compatibilidad con los sistemas instalados.

Airwave

Sistema de operación de redes que permite administrar y monitorizar las redes inalámbricas. Proporciona una visión granular de dispositivos, usuarios y aplicaciones [36]. Este software mostrará, a través de su interface, un monitoreo en tiempo real, alerta, reportes históricos y localización de fallas.

Por tanto, Servirá tanto para administrar redes inalámbricas, en cualquier tipo de entorno, como para el desarrollo de herramientas, como en el caso de la localización en planta. Este programa va acompañado por dos herramientas: Visualrf y Rapids.

Visualrf y Rapids

Virtualrf realiza ubicación y mapas de cobertura Wifi y visión clara de quienes se encuentran conectados a la red. Esto se muestra a través de un sencillo display, el cual permite realizar múltiples acciones de cálculo de redes. A continuación, se muestra un ejemplo de la pantalla display, que usaría este programa para mostrar un área de cobertura de red:



Figura 8.2.-Mapa de calor de la cobertura Wifi en una planta [36].

RAPIDS actúa como detector de elementos no autorizados, recopilación de datos y mitigación de problemas con puntos de acceso no autorizados, clientes no autorizados e intrusiones. Generando un gran fortalecimiento de la red. Esta aplicación del software no siendo del todo importante para la implantación de localización, aportaría un avance extra en la seguridad de la red.

Cualidades

Realizando un análisis de las cualidades de este software, sus características más destacables para el proyecto, el aprovechamiento en seguridad y otros ámbitos en la empresa, serán [36]:

- Seguimientos automáticos de cada dispositivo en la red en tiempo real.
- Seguimientos de usuarios asociados a la red.
- Análisis de ruidos y utilización de canales para solventar problemas de conectividad.
- Monitoreo de toda la red y dispositivos.
- Descubrimiento de dispositivos conectados a la red.
- Localización y diagnóstico de fallas.
- Configuración de AP.
- Administrador de tecnologías, arquitecturas y productos recientes.
- Interface sencilla.
- Seguridad.
- Gran capacidad para administrar dispositivos.

Todas estas características, apoyadas con las del programa A.L.E, serían las buscadas para poder obtener la implantación y además añadiendo un factor extra en seguridad de redes, factor que hoy en día resulta muy importante.

Aruba Analytics and Location Engine (A.L.E)

Motor que sirve como colector de datos de los dispositivos conectados a una red Wifi, pudiéndose usar combinado con otros programas para sacar el mayor provecho del mismo. Este software puede realizar [37]:

- Extracción de información contextual de la Network incluyendo identidades y roles.
- Cálculo de la localización para clientes asociados y no asociados por potencia de señal o proximidad.
- Recolección de datos de localización.
- Motor de análisis de datos para el estudio del comportamiento.

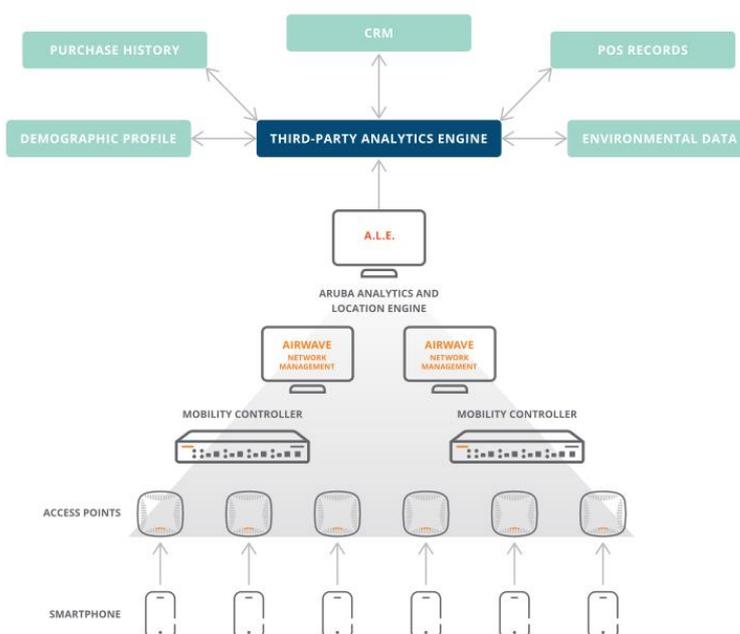


Figura 8.3.- funcionamiento de una red con A.L.E[37].

La figura mostrada representa las posibilidades que tiene el software A.L.E, indicando la cantidad de información que puede procesar, a través de un programa de análisis de datos se podrá obtener todos los datos que se precisen.

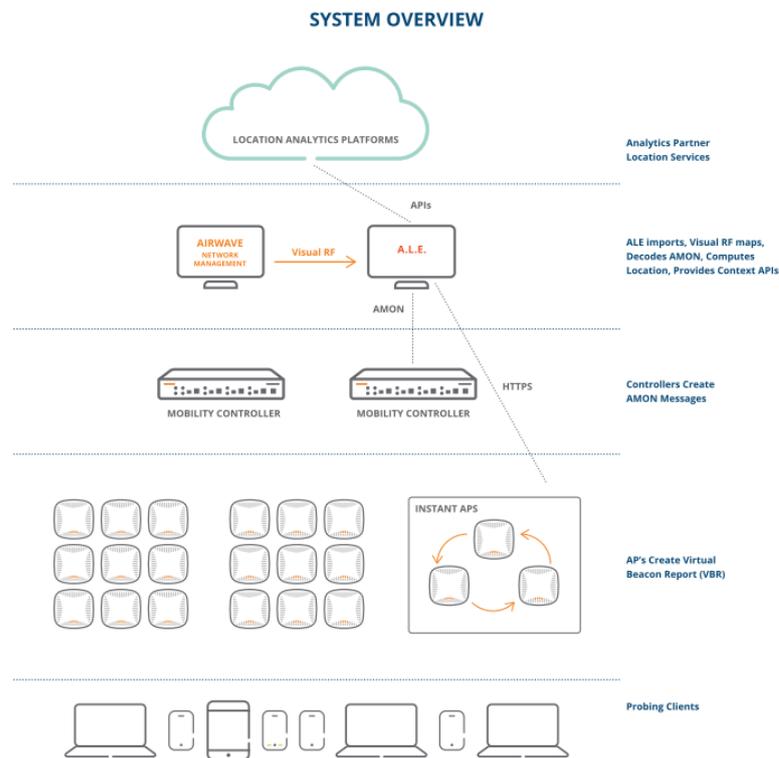


Figura 8.4.- esquema del sistema de localización utilizado por A.L.E, Airwave y APs[37].

En esta figura se puede comprobar como con la información obtenida mediante la triangulación de los diferentes APs, unido a Airwave y A.L.E, proporcionará la información de forma precisa de la localización de los dispositivos conectados a la red.

APIs

ALE puede soportar dos tipos de APIs. (Interfaz de programación de aplicaciones), el software se apoya en estas bibliotecas de programación para que se pueda obtener los datos que se precisen de todos los obtenidos.

1. Polling API- soporta protocolos HTTP GET, Este API permite la introducción de información como estaciones, localización y aplicaciones. Recomendada sobre todo para una iniciación.
2. Publish/subscribe API- basado en Google pubuf y ZeroMQ: esta API permite suscribirse para obtener cierta información. Aconsejable para aplicaciones que quieran actualizaciones en tiempo real para todos sus dispositivos.

Análisis

Un análisis de las posibilidades de esta opción de implantación en los talleres, se tendrán diversas ventajas que se expondrán a continuación:

- La empresa es la misma que la infraestructura implantada en los talleres. Esto aporta un aprovechamiento de sistemas implantados ya en la empresa, y asegura la mejor compatibilidad entre software de implantación y hardware existente.
- Proporciona aplicaciones extra en ámbitos como seguridad y gestión de redes, siendo así una opción con más aprovechamiento, fuera del ámbito del proyecto.
- Aporta las herramientas necesarias para poder desarrollar los resultados buscados por la empresa.

Este paquete de programas También tendría sus desventajas en la implantación, como sería la mayor complejidad de desarrollar, o utilizar, un tercer programa compatible con estos software, para el análisis y visualización de datos. Aun así, podría resultar a su vez como una ventaja, en un posible desarrollo futuro, y adaptación a la aplicación propia de la empresa, teniendo un mayor margen de crecimiento, pero una mayor necesidad de trabajo de desarrollo.

8.1.3. Situm

Empresa con sede en Galicia, con experiencia en el sector de la localización en interiores en industria 4.0 y especializada en todo tipo de localización indoor. Los desarrolladores de este programa tienen una larga experiencia en España en múltiples sectores, habiendo realizado implantaciones en hospitales, centros comerciales y de industria 4.0. Por lo cual es una de las opciones a tener en cuenta, en vista a dicha experiencia.

Esta empresa ha llegado a desarrollar su propio sistema de localización en interiores a través de estaciones Wifi, siendo una de las empresas líder en España en este sector. A través de su plataforma, de forma sencilla, se podría conseguir la obtención de diferentes datos de localización Indoor.

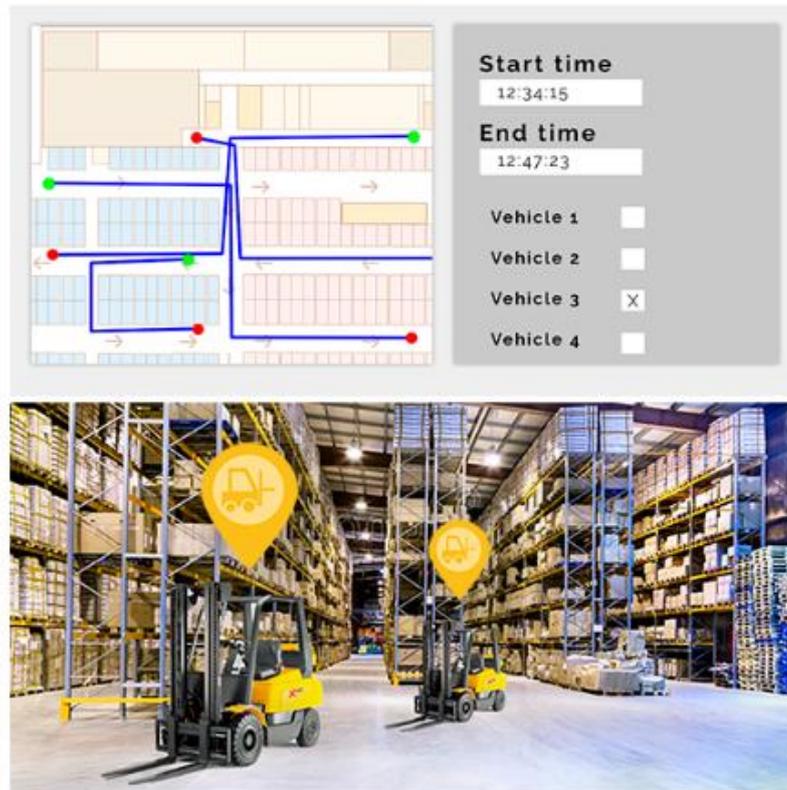


Figura 8.5.- Ejemplo de un control de localización indoor en carretillas móviles [38].

Desarrollo

El trabajo de desarrollo para la implantación se realizaría mediante un único software y constaría de 4 puntos importantes:

1. Cargar el edificio en el dashboard de situm. Mediante un sencillo display el programa de situm permitirá cargar todos planos y lo guardará en el mismo entorno o por separado, para permitir acceder a los mismos con facilidad.
2. Realización de un Mapeo mediante aplicación. A través de la aplicación instalada en el dispositivo móvil, se permite la realización de un mapeo de potencia emitida por las estaciones en diferentes puntos, generando una ruta con la unión de dichos puntos.
3. Localización del dispositivo. Mediante las mecánicas del software finalmente se consigue realizar una primera localización del dispositivo en el interior.
4. Crea aplicaciones (Situm dashboard, 2.0 analytics) SDK para móviles. Por último, la aplicación permite el desarrollo de los usuarios.



Figura 8.6.- Ejemplo de display para carga de un plano en el dashboard de Situm [38].

El sistema de situm está basado en una mejora de su precisión con el movimiento del usuario, una vez realizada la conexión del dispositivo se realizará una primera estimación de la posición, que tras desplazarse irá reduciendo el error tras diferentes estimaciones, este error será el provocado por la inestabilidad propia de las redes de Bluetooth y Wifi.

El programa, una vez realizado estos primeros pasos, permitirá crear diversas aplicaciones y desarrollar programas según las necesidades precisadas, pudiéndose así obtener todos los datos anteriormente expuestos, que buscaría la empresa.

Análisis

Esta opción tendría una serie de ventajas a tener en cuenta que se analizarán a continuación, se tiene [38]:

- Reducción de costes con el uso de infraestructura existente.
- Existencia de una versión gratuita (demo) de cara a una prueba de adaptación para comprobar si la implantación funcionaría en nuestro caso y detectar problemas.
- Posibilidad de realizar un desarrollo de aplicaciones con un SDK (software development kit: herramienta de ayuda para el desarrollo de aplicaciones).
- Dado que el desarrollo de este software viene realizado por una marca Española existiría la Posibilidad de contacto directo con los desarrolladores mismos de la aplicación, sin necesidad de terceros.

A pesar de esto, se tienen diversas desventajas a tener en cuenta, como tener menos posibilidades de maniobrar con la aplicación, al estar ya desarrollada y de no asegurar una compatibilidad total entre APs como otras de las opciones.

8.1.4. Ekahau

Empresa especializada en soluciones software para mejorar la experiencia del uso de redes wireless [39], teniendo como socio comercial, entre otros, Aruba, marca de los dispositivos AP instalados en la empresa. Para este tipo de casos, Ekahau ha desarrollado un sistema a través del cual desarrollar herramientas que permitan el seguimiento o Tracking Indoor, mediante la captación de la potencia Wifi. Este software tiene una gran precisión debido a que además cuenta con un método de calibrado con el que poder desarrollar una mejor experiencia en la implantación.

El sistema básico para realización de la localización seguiría el esquema expuesto a continuación:

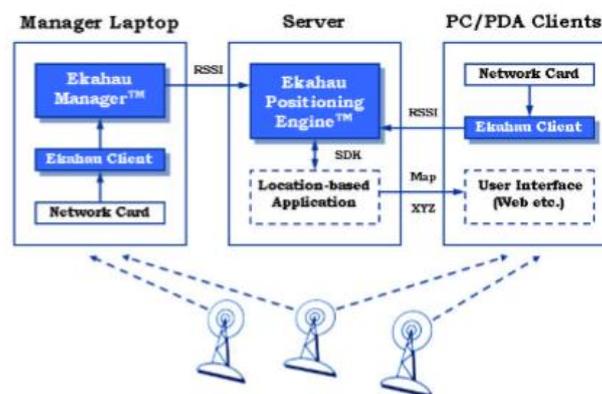


Figura 8.7.- Esquema de funcionamiento de sistema de localización Ekahau [40].

En el caso de este proyecto tendría interés lo que llega afectar al uso de las PDA. Para ello se indica que se necesitarán dos programas, el que iría instalado para la recogida de datos y cálculo de posicionamiento, y el software que iría instalado en la PDA o dispositivo móvil, además del programa necesario para la visualización y monitoreo.

Ekahau Positioning Engine

Este software será el cual recopile y calcule la información necesaria para el posicionamiento, siendo el centro de control de todo el sistema y a través del cual poder

diseñar e implementar el sistema de localización, actuaría como un motor de datos que se activa automáticamente al iniciar el ordenador en el cual está instalado.

Ekahau Client

Este software estará instalado en los dispositivos a localizar, servirá para realizar la calibración que permite una mejora en la localización del dispositivo, así como permitir al Ekahau Positioning Engine recibir la información para realizarla.

También deberá estar instalado en el ordenador a través del cual se quiera realizar el control del posicionamiento de dispositivos, en el cual este instalado el software Ekahau Manager, permitiendo a estos ordenadores:

- Visibilidad del estado del cliente.
- Conectar o desconectar el servicio Ekahau Client.
- Permitir o restringir el positioning engine.
- Habilitar o deshabilitar el logging a Ekahau client.

Por lo que permitirá un control completo de la red y del sistema implantado mejorando así, de cierta forma, la seguridad de red.

Ekahau Manager

Este software permite a un dispositivo controlar y acceder a la posición y los datos de los diferentes dispositivos móviles, que entren en la red y tengan instalado el Ekahau Client.

El programa Ekahau Manager sería el que permite navegar por toda la información que se precise y conseguir resultados. Pudiéndose editar múltiples opciones como mapeados, captura de datos o seguimientos, además de visibilizar la potencia transmitida por cada uno de los Access Point, realizando cálculos de posibles errores de precisión y situándolos en el plano, permitiendo de esta manera hacer un estudio de la efectividad del método y los puntos débiles de la implantación.

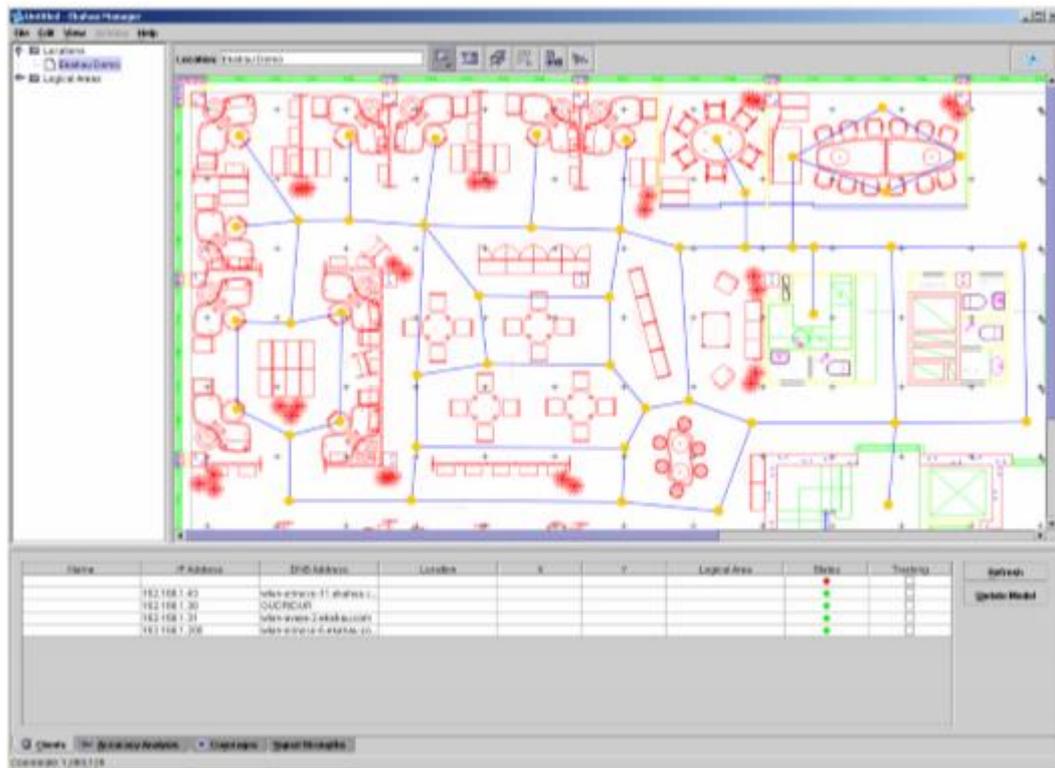


Figura 8.8.- Ejemplo de Display Ekahau manager para el tracking en puntos de interés de distintos AP [40].

En resumen, los tres software de Ekahau permitirán realizar tanto un estudio completo de funcionamiento de redes Wifi, así como la implantación del sistema de localización buscado.

Software para el análisis

Además de los software anteriores, Ekahau también tiene un software especializado en el análisis de redes, **Ekahau Survey**, este sería un software diseñado especialmente para el análisis de redes, usado como analizador de Wifi para Windows, tanto para principiantes como para administrador de redes, dando el mismo servicio que daría el anteriormente comentado Airwave de Aruba. Las características de análisis de Ekahau Survey permitirían la realización mapas de calor de potencia y de gestión de red. Este tipo de software son utilizados sobre todo para potenciar el rendimiento de la comunicación e intercambio de datos a través de la redes Wifi, permitiendo diseñar la localización de las redes Wifi para alcanzar el máximo rango posible sin excederse en el uso de antenas, y analizando el uso de los canales para poder elegir el de menor ocupación y distribuyendo de la mejor manera las conexiones de los dispositivos móviles.

En el caso de este proyecto, sería la primera función explicada la que tiene importancia, ya que permitirá conseguir analizar el comportamiento que tienen las ondas emitidas por las antenas de forma teórica, de manera que se podrá diseñar y usar de apoyo si fuera preciso para la implantación. La importancia viene dada por el comportamiento de las ondas transmitidas por una antena que varía según sea su entorno, como se ve en la imagen a continuación.

En el ejemplo a continuación, se ve como se mostraría una huella de potencia emitida en un análisis mediante esta herramienta, además de la pantalla display del mismo.

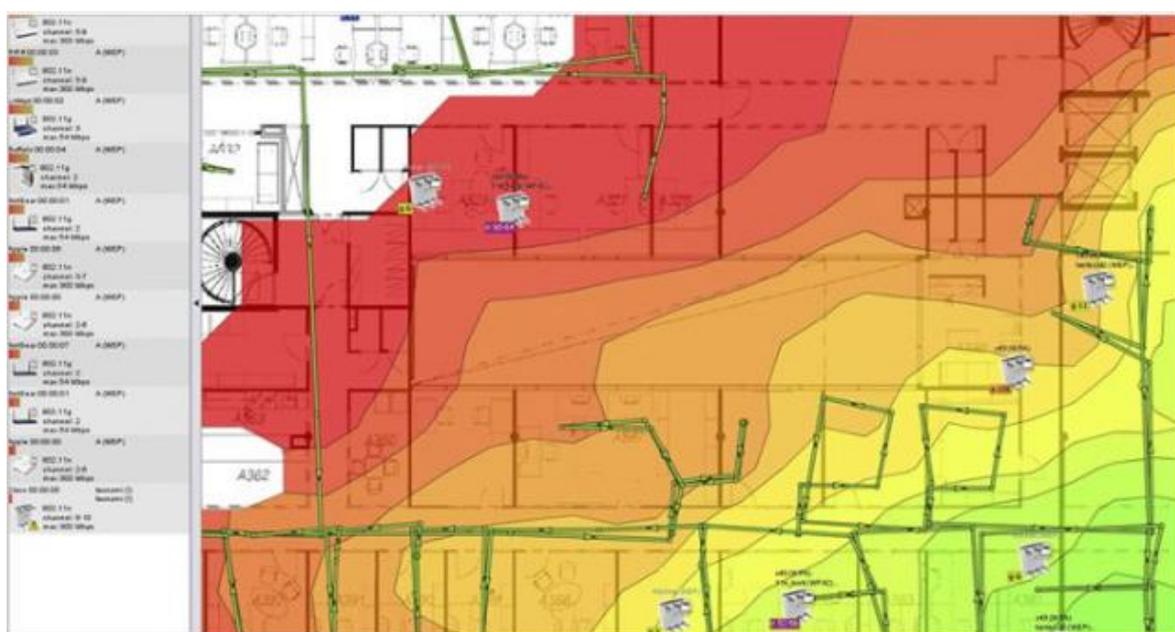


Figura 8.9.- Ejemplo de huella de potencia generada por dispositivos de emisión Wifi.

La herramienta además permitirá el uso de planos en el formato Autocad, de los que se dispone de todos los talleres, e incluso tener toda la información acerca de los dispositivos Wifi de la marca Aruba instalados en los mismos, ya que ambas marcas actúan como socios tecnológicos. Esto hace que la herramienta aporte una gran eficacia y facilidades para ser utilizada por la empresa.

En este caso la herramienta de análisis de redes no es obligatoria o necesaria para la realización de la implantación, pero podría usarse para obtener información y gestión de red que la apoye.

Análisis

Estos software desarrollados por la compañía Ekahau ofrecen diferentes ventajas dentro de la implantación buscada, destacando algunas de ellas que serían:

- Compatibilidad con las estaciones de acceso a red ya existentes en los talleres, ya que Aruba es un colaborador de Ekahau.
- Posibilidad de un gran desarrollo que permitiría la obtención y análisis de gran cantidad de datos, aportados por las múltiples herramientas dadas por el programa. Pudiéndose realizar desarrollos mediante APIs y SDK.
- Posibilidad de realizar análisis de redes, mejorando así su rendimiento y la seguridad de las mismas.
- Los software de Ekahau solo dependerían de sí mismos sin necesidad de un tercero, por tanto se asegura la compatibilidad y el mejor funcionamiento entre ellos.

A pesar de todas estas ventajas también tendría ciertos inconvenientes, como la necesidad de un mayor desarrollo en la obtención de los datos, y por tanto más trabajo.

8.2. Resumen de Opciones de Software de localización

En este apartado se expondrán las fuerzas y debilidades de cada opción expuesta anteriormente, de manera resumida y teniendo en cuenta diversos factores fijados al inicio de este capítulo, recopilando los análisis ya hechos de cada uno de los programas y contraponiéndolos.

Principalmente, se tendrá en cuenta la mayor compatibilidad entre los sistemas presentes y los sistemas a instalar, esto hace que cobre mayor importancia los software de Aruba y en cierta medida el software desarrollado por Ekahau, ya que estos serían partners de los anteriores, asegurando así una compatibilidad total entre los sistemas software de

implantación y los hardware ya implantados. Este factor se considerará de los más importantes de cara a la mayor compatibilidad entre tecnologías y marcas.

También cabría mencionar que mientras que el resto de software expuesto en este capítulo son empresas internacionales, el software de situm tiene su sede en España, aportando la posibilidad de tener un contacto directo con los desarrolladores y creadores del mismo software, que en otros casos resultaría más complicado.

Teniendo en cuenta el resto de factores, todos dependen del nivel de desarrollo permitido por cada uno de los software, siendo bastante amplio en cualquiera de los productos expuesto anteriormente, siendo el software de situm el que podría limitarse más en este sentido, al estar más completo que los anteriores, haciéndolo a su vez más sencillo en su desarrollo, pero también teniendo en cuenta que Aruba y Ekahau comprenden de mayor complejidad ante el software de situm, que consta únicamente de un software, lo que a pesar de poder ser un inconveniente puede resultar una ventaja a la hora de obtención de mayor cantidad de datos y posibilidad de análisis.

En resumen, cualquiera de estas tres opciones de implantación podría resultar valida en la búsqueda de los resultados buscados, teniendo unas mejores posibilidades los software de Aruba y Ekahau, siendo los más complejos de las opciones pero los más completos.

8.3. Análisis de redes actuales.

Este apartado sería uno de los más importantes para un buen diseño de la implantación. Se basará en analizar la potencia de los puntos de acceso, que actualmente se encuentran instalados en los talleres. Este proceso aportará una serie de beneficios al proyecto como: obtención de áreas con el nivel de señal más alto, obtención y análisis de los puntos importantes de los talleres y obtención de las áreas más débiles de señal a reforzar.

Este apartado se llevará a cabo mediante un trackeo de potencia en puntos específicos del taller, por lo que servirá para identificar y definir dichos puntos, factor importante para la implantación, y obtener la máxima información de los mismos.

Este análisis resulta de importancia para analizar el comportamiento de la señal, ya que normalmente esta se ve afectada por diferentes factores, que hacen que evolucione de forma irregular.

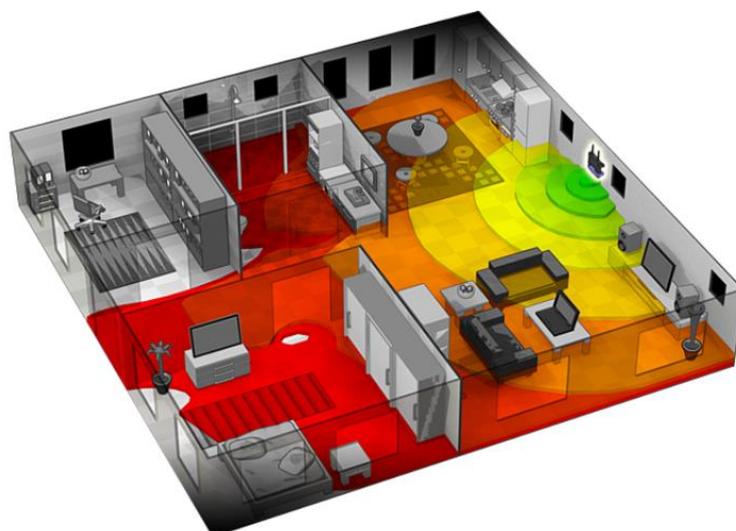


Figura 8.10.- Ejemplo de la distribución de una señal en el interior de una vivienda.

Como se puede apreciar en la figura de ejemplo, aunque la tendencia en la zona más cercana a la antena sea una emisión regular y equilibrada, distribuyéndose en un área circular. A medida que la emisión se aleja del foco, se comprueba que esta se ve afectada por diversos factores que son los que serán tenidos en cuenta:

- Paredes.
- Suelos.
- Maquinaria: tornos, fresadoras, mandrinadoras....
- Zonas aisladas.

Este proceso sirve para conseguir la implantación lo más equilibrada posible, procurando no tener un exceso de AP, pero así mismo tener los suficientes para que en todos los puntos se consiga una triangulación adecuada. El factor a tener en cuenta será la necesidad de tener al menos la señal adecuada de 3 de las antenas en el área de análisis, para ello será necesario la realización de mediciones prácticas en el taller, de la intensidad de la señal en diferentes puntos de importancia.

En este apartado se analizará la distribución de potencia que hay en los talleres actualmente, con los AP instalados y en funcionamiento, únicamente utilizados para transmisión de datos. Se analizará teniendo en cuenta la potencia transmitida y se realizará una medición práctica de la red, con lo que se valorarán los efectos de paredes y máquinas, que disminuyen la potencia de la misma. Así se podrá comprobar el alcance de las redes, y posteriormente en otros apartados, un cálculo de cuantos AP que serían necesarios dependiendo de las áreas más débiles y de seleccionar áreas con un buen nivel de señal en caso de precisarse la realización de pruebas o test.

El fingerprinting es un sistema de medición de potencia de señal o mapeado de potencia, a través del cual se consigue aumentar enormemente la precisión en la localización indoor. Se basa en grabar la llamada “Huella de potencia” en diferentes puntos específicos del plano, marcando tu posición y la potencia en dicho punto.

El mapeo de potencia es un método que diferentes estudios consideran como el que más valor da a la implantación de localización mediante Wifi en interiores, ya que genera un aumento de precisión considerable. Adicionalmente este proceso también sirve de apoyo para analizar la potencia real de red en zonas puntuales, y de esta manera conseguir datos prácticos de las zonas débiles de la red. Por ello se tomarán datos de potencia específicos en diferentes puntos de importancia dentro de los talleres.

Los puntos considerados de importancia a resaltar serán las máquinas o zonas de trabajo, ya que esto permitirá conseguir la posición del dispositivo con mayor exactitud en los momentos y zonas en que los operarios estén trabajando en sus puestos. Permitiendo de esta manera, posteriormente con un mayor desarrollo, una mayor precisión en las zonas donde más se requiere el conocimiento exacto de la posición de los operarios.

El proceso se llevará a cabo mediante un software que permita medir la potencia de las diferentes antenas captada por un dispositivo móvil, en la localización en la que se encuentre. Para ello, en cada punto de importancia se medirá la potencia de todas las antenas uno por uno, generándose así un mapeado de potencias sobre el plano.

8.3.1. Software.

Actualmente, existe una gran cantidad software que te permiten realizar las mediciones de potencia de forma manual, a través de un dispositivo móvil. Los principales ejemplos a los que se puede hacer referencia serían:

- **WiFiAnalyzer**
- **Network Analyzer**
- **Netspot**
- **Wifi overview 360**

Todos estos programas han sido diseñados para la medición de la potencia de todas las redes cercanas al dispositivo, y poder además hacer análisis del uso de los canales de red para los mismos. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo distribuye las conexiones entre los diferentes canales, como se puede observar, los diferentes dispositivos se distribuyen automáticamente entre los diferentes canales, de forma que siempre que sea posible no se sobrecargue la estación.

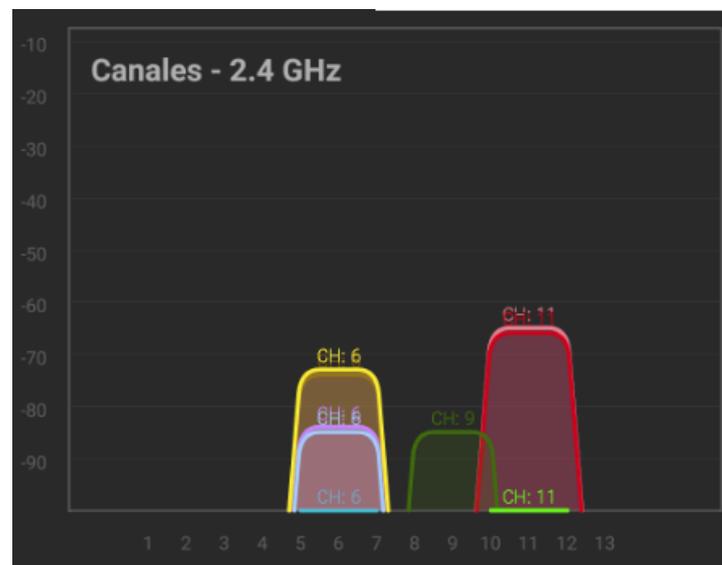


Figura 8.11.- Uso de canales Wifi en los talleres para los canales de 2.4 Ghz.

En este caso se utilizará el programa de Netspot, desarrollado por la empresa del mismo nombre, dedicada al análisis de redes y resolución de problemas de forma profesional.

8.3.2. Teoría

Inicialmente se comentará de forma resumida el significado de las medidas prácticas tomadas en las mediciones, para ayudar a una mejor comprensión de los valores obtenidos y el comportamiento de las emisiones de las estaciones en los talleres.

En estos casos, las potencias se miden en dBm, esta unidad, indica la potencia, medida en decibelios y referenciada al Milivatio. Esto permitirá una mayor sencillez en el manejo de datos, siguiendo la fórmula 9.1:

$$dBm = 10 \times \log \frac{P}{1 \text{ mW}} \quad [9.1]$$

Con esta fórmula se obtiene un rango típico para transmisión inalámbrica, del tipo Wifi, entre los valores de [-60,-80] dBm. Representando una potencia de 1,0 nW y 0,01 nW respectivamente. Esos serían los valores típicos pudiéndose obtener captaciones inferiores y superiores, dependiendo de la distancia del emisor a la cuál te encuentres. Para analizar los datos de este proyecto se considerará que los valores de potencia más cercanos a los 80 dBm serán valores bajos de potencia, a los que posteriormente se les buscará una solución.

Como ya se ha explicado anteriormente, esta potencia va directamente relacionada con la velocidad de transmisión de datos, y por tanto afectará directamente a la localización y triangulación de posiciones. La relación entre ambas variables se podría definir como la figura que se muestra a continuación:

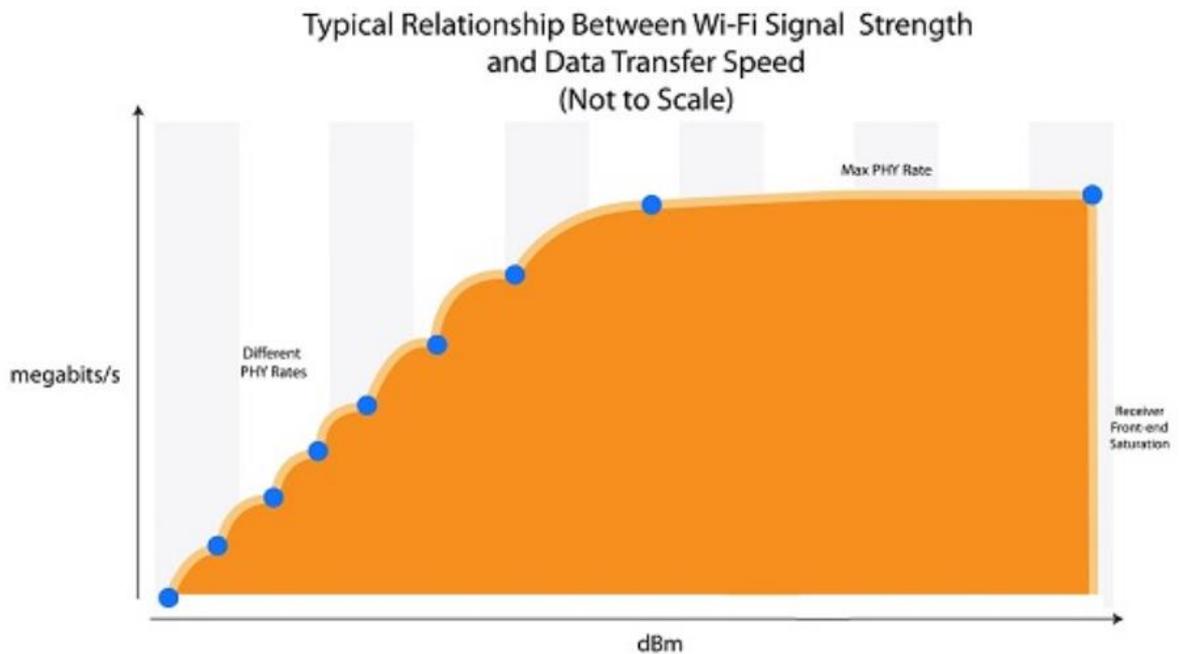


Figura 8.12.- Relación entre la potencia de señal Wifi y la velocidad de transmisión de datos [41].

El gráfico muestra como la velocidad aumenta a medida que aumentaría la potencia aunque no sería una relación directamente proporcional, sino que, llega un momento en el que el crecimiento de la velocidad se detiene a pesar del aumento de la potencia, ya que habría llegado a su máximo.

Usando este sistema de medida se analizará la potencia transmitida por cada antena del taller de mecanizado y calderería, en ciertos puntos, y a diferentes distancias de las mismas. Este ejercicio servirá al mismo tiempo para obtener el alcance de la red y para realizar un mapeo de redes muy útil para la mejora de la precisión de la localización.

8.3.3. Mapeado del taller de mecanizado.

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos al realizar el mapeo de la red en el taller de mecanizado calderería. Los puntos marcados como puntos de interés representarán las zonas en las que se sitúan las máquinas de trabajo, considerándose los puntos donde mejor precisión se ha de obtener en la localización.

En el taller se tendrán 3 antenas emitiendo señal, que han sido nombradas como AP-1, AP-2 y AP-3, a las cuales se les asignará un color, para un reconocimiento más

intuitivo de su localización y una mejor lectura de los resultados de cada una, en cada uno de los puntos.

- AP-1
- AP-2
- AP-3

Figura 8.13.-Representación en el plano de los puntos de acceso (AP).

A continuación, se mostrará el plano con los puntos destacados y la situación de cada una de las antenas, junto con la tabla de resultados de la potencia en cada uno de los puntos en la planta.

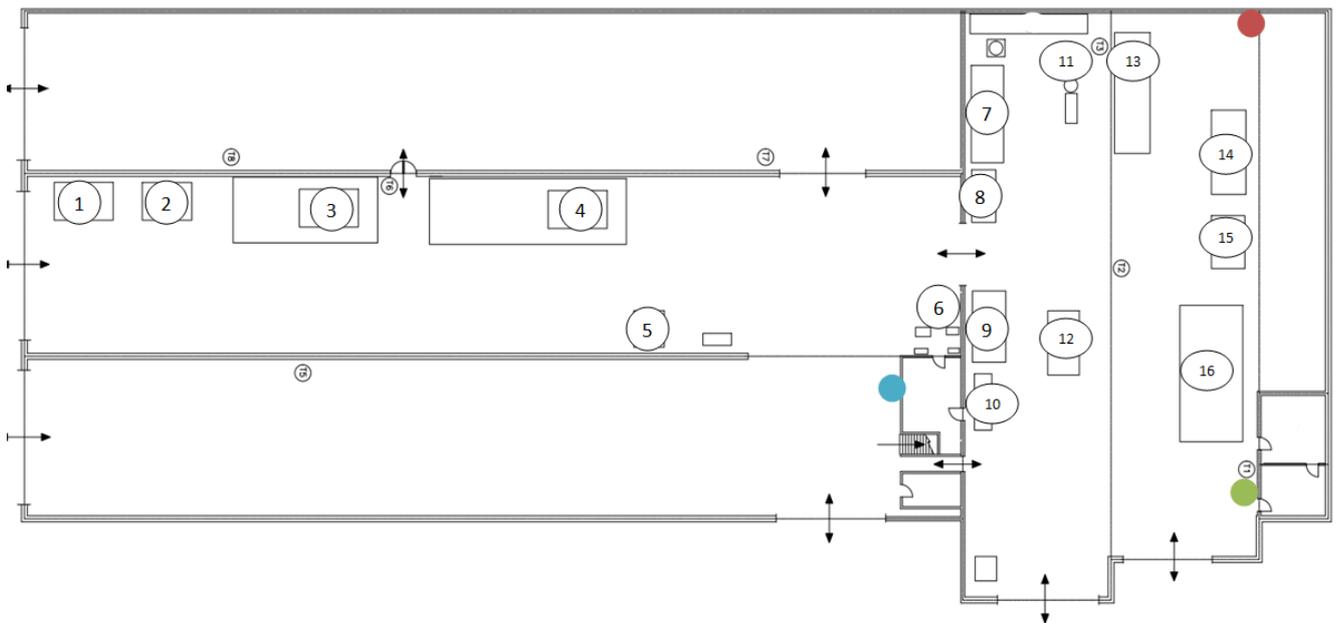


Figura 8.14.- Plano de puntos de interés en el taller de mecanizado y localización de APs.

TALLER DE MECANIZADO				
		POTENCIA DE ACCES POINT [dBm]		
		AP-1	AP-2	AP-3
P U N T O S R É D E	1	-66	-79	-78
	2	-60	-80	-77
	3	-55	-80	-79
	4	-56	-76	-79
	5	-44	-72	-69
	6	-60	-66	-67
	7	-66	-67	-60
	8	-62	-64	-64
	9	-63	-59	-61
	10	-65	-63	-60
	11	-72	-76	-57
	12	-70	-66	-58
	13	-78	-71	-54
	14	-72	-66	-56
	15	-67	-63	-59
	16	-72	-57	-63

Tabla 8.1.- Toma de medidas de potencia para los puntos de interés en el taller de mecanizado.

Analizando los resultados obtenidos se podría apreciar las zonas en las que la potencia emitida por las antenas llega a ser baja, como sería el punto 1, 2 y 3, en el que al menos 2 de los 3 AP tendrían unos valores de potencia muy bajos, por lo que se podría considerar una de la zona más débil actualmente, esto es debido a la distancia existente entre la estaciones de antenas, que resultaría ser la de mayor tamaño, y además se cuenta con una gran cantidad de máquinas que podrían ser las causantes de ciertas interferencias. Los puntos 11 y 13, que se encontrarían en la misma zona, más cercana al AP-3, sería una zona ligeramente débil a tener en cuenta, ya que la potencia para las estaciones 1 y 2 sería ligeramente baja respectivamente, esto es probablemente debido a que en esa zona estaría ocupada por máquinas de gran tamaño que provocarían las interferencias, esta zona no resultaría un problema de cara la transmisión de información, ya que sí que existiría una antena con una potencia alta, en cambio si se tendría en cuenta para la localización.

Analizando esto sobre el mapa se destacarían dos zonas en concreto, una zona más conflictiva con una carga de cobertura baja (zona roja), que ya se destacó anteriormente, y otra zona que al contrario representaría la zona idónea en cobertura por parte de las 3 estaciones (zona verde), en la que se comprueba que todas las estaciones tienen una potencia y transmisión de datos buena. También se comprueba la existencia de una zona (zona naranja) que tiene cierto nivel de cobertura más bajo para uno de los AP.

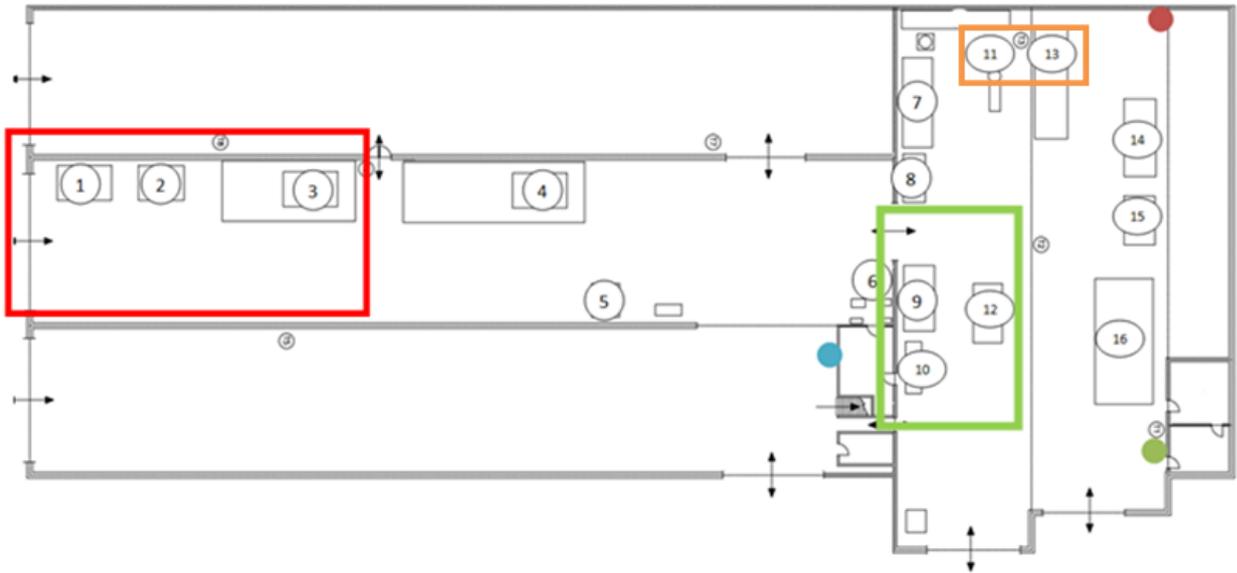


Figura 8.15.- Plano del taller de mecanizado con áreas de estudio destacables.

Esto daría pie a la posibilidad del uso de la zona verde para la realización de pruebas en caso de que fuera necesario, para comprobar la precisión y eficacia de cualquier tipo de software, evitando por tanto la necesidad de una inversión extra en productos hardware.

8.3.1. Mapeado de taller de calderería

En este apartado se realizará el mapeo de la red de calderería, definiéndose de esta forma los puntos de importancia de análisis y para tener un análisis práctico del estado actual de las redes en este taller.

El taller de calderería cuenta en la actualidad, como ya se ha comentado anteriormente, de 2 estaciones de acceso. Esto no sería lo suficiente para una localización en ninguna zona del taller, con las prestaciones que se requieren, por tanto este estudio

servirá para la localización de las zonas más débiles de la red y de esta manera poder realizar un análisis futuro de la red.

Dado que en este taller no se tienen prácticamente grandes maquinarias de trabajo, sino que su utilización mayoritaria sería el de máquinas de soldadura móviles, los puntos de interés en este caso irán enlazados a las aéreas de trabajo en las que está dividido el taller, donde se suelen situar los operarios para operar con dichas máquinas.

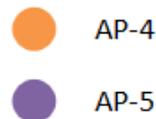


Figura 8.16.-Representación en el plano de los puntos de acceso (AP).

A continuación, se muestra la división del plano del taller de calderería en sus puntos de interés, destacando también la situación de cada uno de sus estaciones actuales, así como los resultados obtenidos:

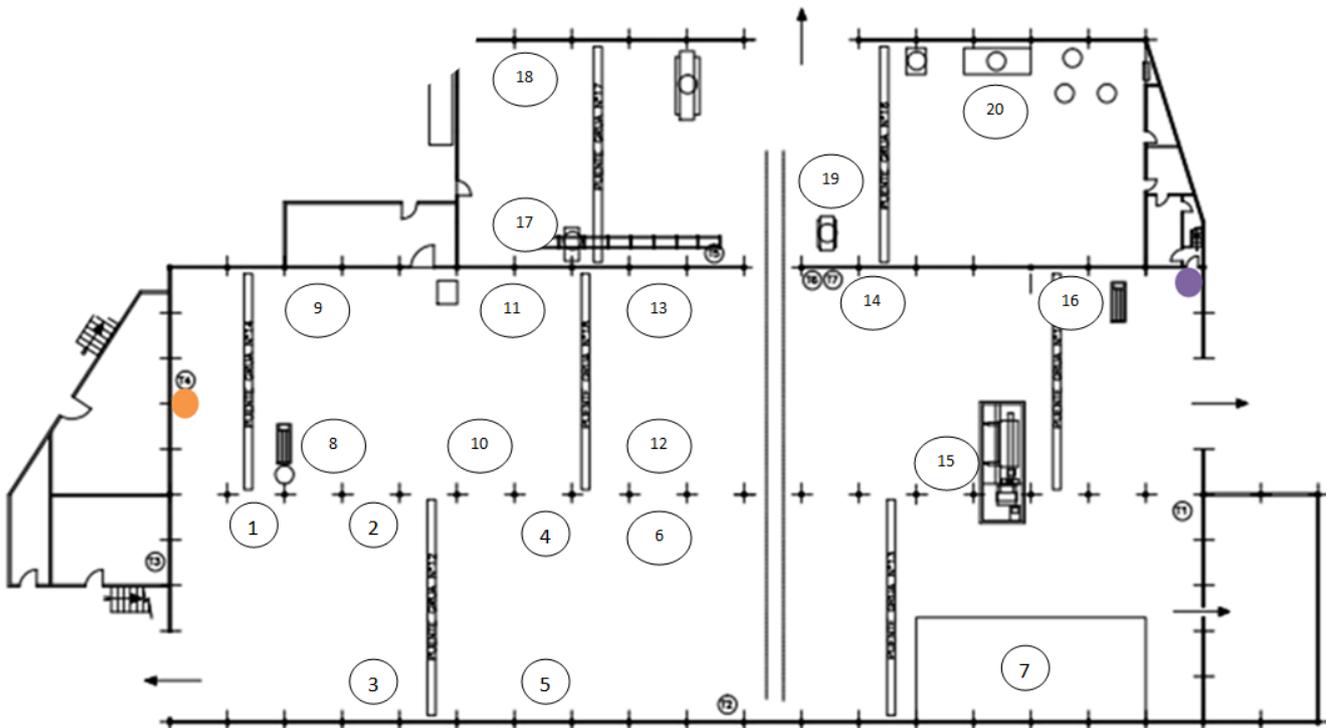


Figura 8.17.- Plano del taller de calderería con los puntos de interés y AP.

TALLER DE CALDERERÍA			
		POTENCIA DE ACCES POINT [dBm]	
		AP-4	AP-5
P U N T O S D E I N T E R É S	1	-53	-74
	2	-58	-70
	3	-61	-70
	4	-56	-66
	5	-64	-63
	6	-61	-62
	7	-68	-60
	8	-43	-68
	9	-59	-71
	10	-60	-72
	11	-59	-67
	12	-65	-60
	13	-63	-59
	14	-61	-64
	15	-67	-64
	16	-68	-63
	17	-61	-68
	18	-71	-76
	19	-72	-69
	20	-73	-62

Figura 8.18.-Toma de medidas de potencia para los puntos de interés en el taller de mecanizado.

La observación de los resultados obtenidos mostrará una muy buena potencia en prácticamente todos los puntos del taller. Esto resulta, probablemente, del menor número de maquinaria en el taller y de su menor tamaño además del menor número de paredes que permiten no aislar la señal a largas distancias, lo cual actúa muy positivamente de cara a la transmisión. Aun así, existirán unas zonas en las cuales la potencia resulta más debilitada, en las cuales existen una mayor cantidad de obstáculos que resulta el motivo de dichos valores (paredes, zonas aisladas, maquinaria de mayor tamaño, zona de procesos robotizada...). Por tanto, se destacará la zona que ocuparía el punto 18 como ligeramente conflictiva.

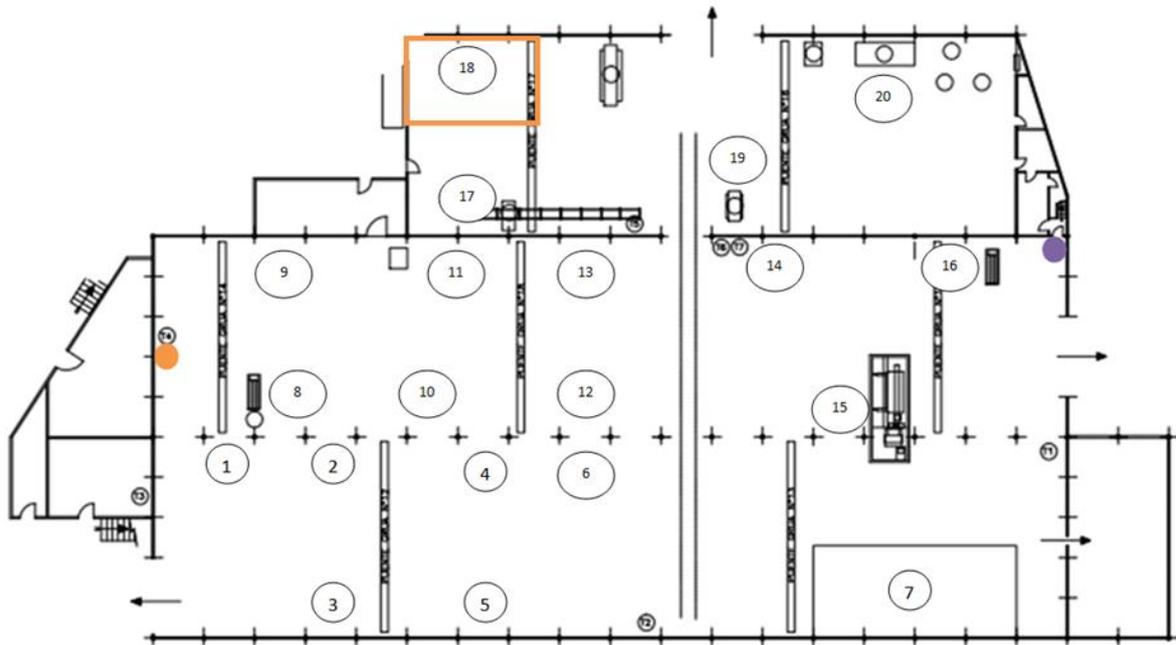


Figura 8.19.- Plano del taller de mecanizado con áreas de estudio destacables.

Con este estudio se tendrá la posibilidad de analizar cómo se debería situar las estaciones, actualmente insuficientes para realizar la implantación, ya que únicamente se cuenta con dos de ellas para todo el taller.

8.4. Análisis de redes de implantación

Tras comprobar el estado actual de la red, se pasará al diseño de la red para un prototipo de la implantación. En este apartado se ha de tener en cuenta, sobre todo, que para realizar una localización se necesitará que como mínimo 3 antenas estén captando la señal del dispositivo móvil, como ya se explicó en capítulos anteriores. Por lo tanto, el diseño buscará conseguir que para cualquier punto del taller siempre se consiga que 3 puntos de acceso den señal al dispositivo. También se tendrá en cuenta la situación de los puntos de red, que evitarían el cableado extra de la implantación y se contemplará una distribución coherente, teniendo en cuenta la problemática que generaría la instalación de un exceso de estaciones muy cercanas, a la hora de la transmisión de red e interferencias entre las mismas.

Lo principal, será tener el suficiente número de Access Point para realizar la localización. En este caso, habría que aumentar el número de los ya existentes y analizar la

distribución. Partiendo de la base que para realizar una localización con la precisión adecuada se necesitará los suficientes Access Point instalados, cuyos alcances deberán cubrir toda la zona acción de los talleres. Para realizar estos cálculos se usarán los planos de los talleres con todas las conexiones a red y los datos obtenidos del estudio de apartados anteriores, que permite obtener el alcance de cada AP. Además, se tendrá en cuenta para la situación de los Access Point las zonas de mayor posicionamiento de personas o zonas “calientes”, analizadas según la zona de trabajo de cada operario y máquinas, esto ayudará a que el error sea mucho menor a la hora de situar a cada uno de los operarios en su puesto de trabajo.

En este apartado se analizarán todos los accesos mínimos que serían necesarios para una implantación del sistema en todos los talleres. En la siguiente tabla se mostrará el número de conexiones red y de Access Point ya activos para poder hacer cálculos del número concreto de antenas:

Taller	Punto de acceso	Punto de red
Mecanizado	3	8
Calderería	2	7
Naval	0	1
Plásticos	1	1

Tabla 8.2.- Número de puntos de acceso y red en los talleres.

Actualmente únicamente el taller de mecanizado constaría con 3 puntos de acceso. Aun así, debido a su extensión este también precisaría de más accesos que permitan un mayor alcance y mejoren la precisión, en este caso ya que se cuenta con 8 puntos de acceso, por lo que no sería un problema. Lo mismo ocurriría con el taller de calderería, el cual tiene únicamente 2 accesos, pero contaría con 7 puntos posibles para la instalación de antenas.

Los mayores problemas podrían surgir de los talleres naval y plástico, los cuales cuentan con muy pocas posibilidades de redes actualmente, la propuesta para estos talleres inicialmente sería la de instalación de estaciones, aunque esto supusiera la necesidad de instalación de cableado.

8.4.1. Implantación prototipo: talleres de calderería y mecanizado

Tras la realización del estudio previo, se tendrá que en ciertas áreas de los talleres el nivel de potencia emitida por las estaciones es considerado bajo, por ello en este apartado se tratará de exponer un prototipo de la implantación para las estaciones.

Tras el análisis de los resultados en el taller de mecanizado, se tendrá la existencia de al menos una zona en la que la señal es considerada muy débil por parte de dos de las estaciones. Esta zona, remarcada en imágenes anteriores, será a la que se le buscará el mayor refuerzo de señal, para ello se propondrá la instalación de dos estaciones, en los puntos de conexión de red más próximos. Además, dado que existe otra zona en la que se precisaría de un mayor apoyo de red, también se propondrá la instalación de una estación que refuerce dicha zona comentada anteriormente. Por tanto, el resultado sería:

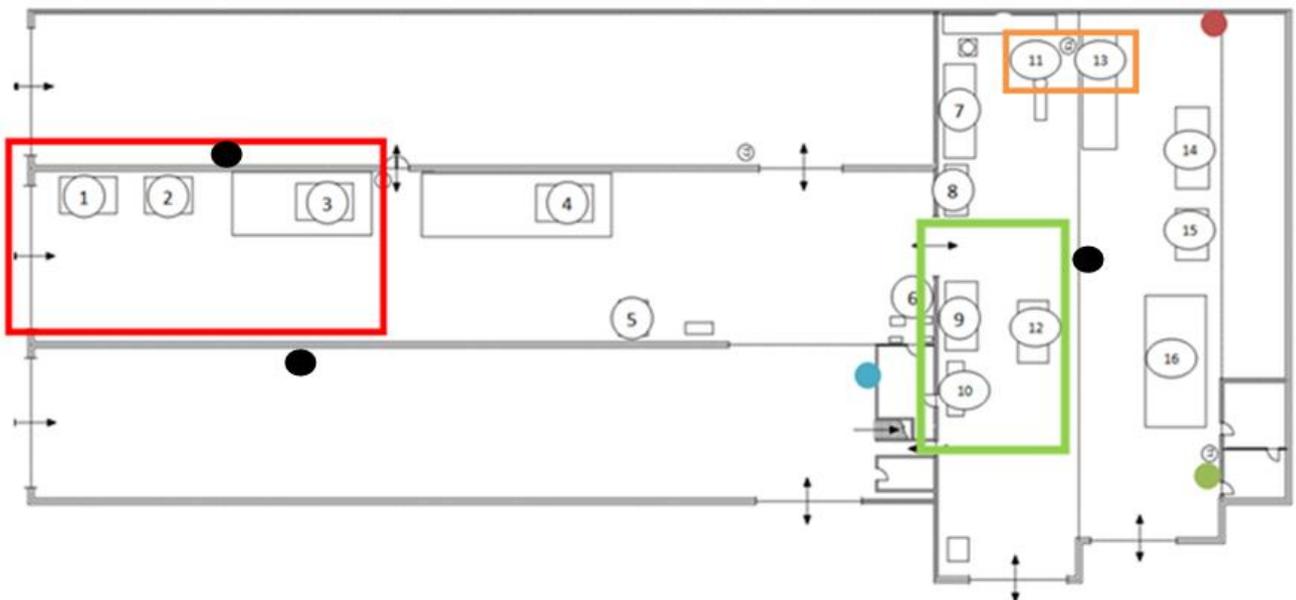


Figura 8.20.- Plano de distribución de estaciones del taller de mecanizado.

Con la instalación de estos dispositivos se podría completar una red fuerte de estaciones para la localización, consiguiendo compensar las zonas más débiles existentes, y reforzar algunas zonas que podrían resultar problemáticas.

Para el taller de calderería, se precisará de una serie de estaciones ya que no se cuenta con el mínimo para una implantación de localización, como ya ha sido expuesto anteriormente se tendrá una zona cuya conexión será más débil, por parte de una de las

estaciones (AP5), pero siempre se tendrá en cuenta que las señales de los AP en el resto del taller tendrán una gran calidad de señal.

Las estaciones que se proponen para la implantación estarían situadas en la zona media del taller, para actuar de forma que cualquier punto del taller alcance a tener las suficientes señales, como se muestra a continuación:

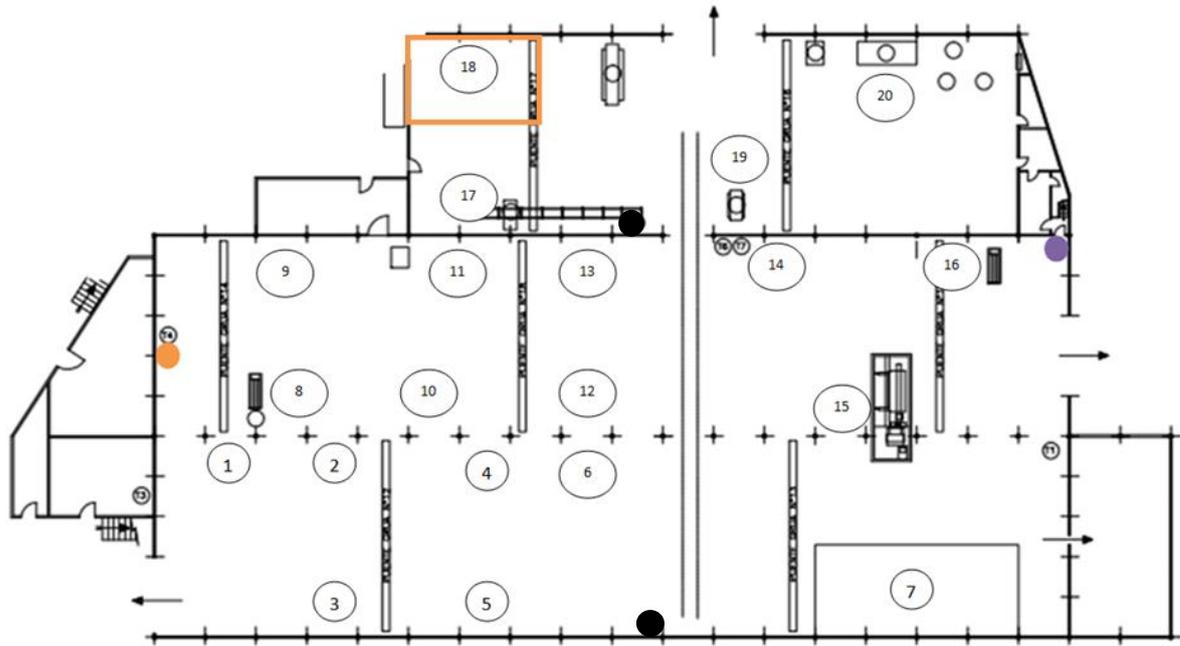


Figura 8.21.-Plano de distribución de estaciones del taller de calderería.

De modo que al situar ambas estaciones en una línea sin exceso de obstáculos, que puedan causar interferencias, frente al área de mayor conflicto, en esta se tendrá cobertura a buen nivel por parte de al menos 3 antenas, que permitirá hacer la localización.

De esta forma, se tendría una implantación completa mínima en ambos talleres, que permitiría realizar la localización en interiores, propuesta en el prototipo, teniendo al menos el mínimo número de estaciones que se precisaría.

8.4.1. Implantación prototipo: talleres de naval y plásticos.

También se tratará la implantación de estaciones en los talleres cuyas conexiones son inferiores a los del resto de talleres, estos serían los talleres conocidos como Naval y Plásticos.

En estos casos se contaría que únicamente en el taller de plásticos existiría instalada una estación, por tanto, se realizará en ambos una implantación completa de estaciones, al ser ambos los talleres de menor tamaño esto llevará a que, en la implantación, únicamente se precise de 3 estaciones de conexión, para la realización de una implantación fiable. Por tanto, se tendrá un total de 3 estaciones de red en los talleres de naval y 2 en el taller de plásticos, teniendo en cuenta que además en este último no se suelen tener grandes maquinarias por lo que se cuenta con muy pocas interferencias y, además, ya se contaría con una conexión en el.

El problema suscitado por esta solución de implantación sería la necesidad que en estos talleres se realizase una obra de instalación de cableado, para conseguir el número de conexiones de red que permitan distribuir la potencia Wifi por toda la zona.

Para la distribución, se tendrá en cuenta la longitud de onda, anteriormente estudiada en otros talleres, y se tendrá en cuenta la precaución de mantener cierta distancia entre estaciones. Para el número de AP como ya se ha comentado anteriormente se tendrá en cuenta el menor tamaño de los talleres y el menor número de maquinaria. Teniendo finalmente:

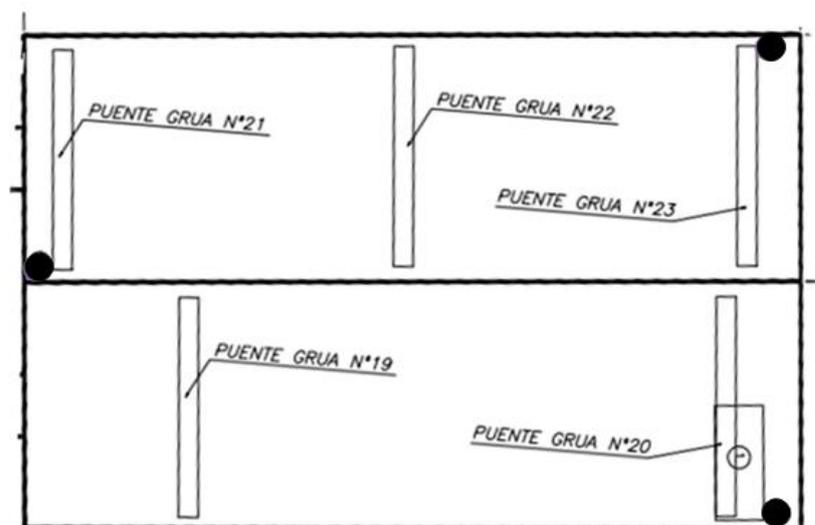


Figura 8.22.- Plano de propuesta de distribución de estaciones para el taller de Naval.

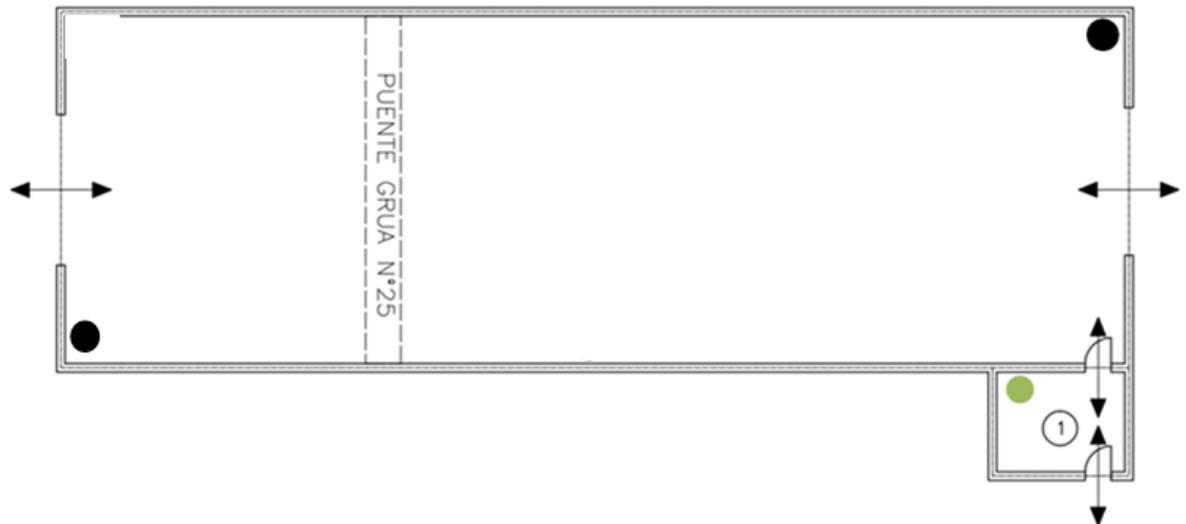


Figura 8.23.- Plano de propuesta de distribución de estaciones para el taller de plástico.

8.4.2. Ficha técnica de AP instalados y propuestos.

En este apartado se mostrará un análisis y una tabla comparativa de las diferentes características de las antenas, ya existentes y las que se proponen para la implantación.

Para la realización de esa ampliación de red considera el uso de la misma marca ya implantada en los talleres, por la experiencia que ya se tiene con los mismos, y además por mantener una compatibilidad entre todas las estaciones. El AP propuesto sería:

Aruba AP- 303 series.

Este AP es uno de los más avanzados, y uno de los que más ventajas aporta, pudiéndose obtener el mejor rendimiento posible en la implantación y en la red. Se tienen las siguientes especificaciones:

- Access point de Aruba, con una tasa de envío de datos aproximada de 867 Mbps en la banda 5 GHz y de 300 Mbps en la de 2.4 Ghz.
- conexión BLE (Bluetooth low energy), que puede ser utilizada como beacon.
- Posibilidad de escoger tu modo de operación: la serie 303 AP aporta dos controladores.

Basado en controlador: cuando lo despliegas en conjunto con un Aruba mobility controles, AP-303 ofrece una configuración centraliza, encriptación de datos, política de refuerzo y servicios de Network.

Sin controlador: la función de controlador esta virtualizada en un grupo de APs en modo instant.

- Modo AP remoto [RAP] para implementaciones en sucursales.
- Monitor de aire [AM]- Para IDS inalámbrico, detección de acceso no autorizado y contención.
- Analizador de espectro- Identificador de fuentes de interferencia de RF.
- Reduce al mínimo las interferencias de redes móviles 4G y 3G, Sistemas de antenas distribuidas y pequeños equipos comerciales.
- Gestión de Radio frecuencia: Contiene tecnología Adaptive Radio Management, que permite asignar de manera automática la configuración de los canales y la potencia, evitando así interferencias y una conexión de alto rendimiento.
- Dos antenas omnidireccionales por dispositivo AP.
- Interfaz ethernet 10/100/1000BASE-T.
- Radio BLE- 3 dBm de potencia de transmisión (clase 2), antena omnidireccional con polarización vertical integrada con ganancia de pico de 4.5 dBi.

Este AP serviría para cubrir todas las necesidades en cuanto a red y tecnología que se precisaría para la implantación, teniendo además las características de los anteriores de resistencia en un entorno como el industrial.

A continuación, se mostraría una tabla comparativa, en la que se resumen todas las cualidades de los diferentes puntos accesos existentes en los talleres, y la estación propuesta para la implantación.

serie	103	207	303
Protocolo Estandar IEEE	802.11 n	802.11 ac	802.11 ac
Velocidad de transmisión de datos	300 Mbps	5 Ghz - 867 Mbps 2.4 Ghz 400 Mbps	5 Ghz - 867 Mbps 2.4 Ghz 400 Mbps
Modo de funcionamiento	Gestión por controlador Gestión sin controlador	Gestión por controlador Gestión sin controlador	Gestión por controlador Gestión sin controlador
Interfaz ethernet	10/100/1000BASE-T	10/100/1000BASE-T	10/100/1000BASE-T
Número de antenas	2	2	2
Tipo de antenas	Omnidireccionales	Omnidireccionales	Omnidireccionales
Bluetooth beacons	-	SI	SI
bluetooth radio	-	3 dBm	3 db

Tabla 8.3.- Fichas técnicas de la tecnología a implantar y ya implantada.

Como se puede comprobar en la tabla, las características de las antenas propuestas son de una gama superior a las existentes, teniendo protocolos superiores que permiten una mayor fluidez, y además permitirán tener una mayor precisión.

En adición estas nuevas estaciones también tienen la capacidad de actuar como balizas de BLE, con lo cual mantiene una vía abierta a una posible evolución en la implantación a un sistema híbrido (Wifi+BLE), en el futuro.

8.4.3. Resumen de prototipo de implantación

En este apartado se resumen todos los datos expuestos anteriormente en el capítulo, con un resumen de los software necesarios y el número de estaciones calculado para la implantación más completa.

Se tendrá que los software para el desarrollo de la implantación podrían ser:

- Aruba: constaría de 2 software. De los cuales para implantación completa se precisaría de un software para cada una de las PDA y 1 para cada dispositivo que quisiera visualizar el movimiento, con la posibilidad de ser combinado con otros programas de análisis de datos.
- Ekahau: Constaría de 3 software para realizar la implantación. El cuál uno de ellos, iría instalado por cada PDA, por otro lado, se necesitará un software que actuaría en el server, y otro que actuaría en los dispositivos de visionado que fueran necesario como manager.
- Situm: consta de un único software para desarrollar la implantación. En este caso el software iría desarrollado para cada dispositivo móvil a localizar, mientras que se tendría un desarrollo web para visualizar su situación, proporcionado por Situm.

En el caso de la instalación de los AP o estaciones de red, se tendrá que en total el aumento por taller de cada dispositivo constaría de:

Taller	Punto de acceso	Punto de red	Propuestos	Total
Mecanizado	3	8	3	6
Calderería	2	7	2	4
Naval	0	1	3	3
Plásticos	1	1	2	3
			10	16

Tabla 8.4.- Puntos de acceso propuestos para la implantación.

Siendo un total de mínimo 10 AP para realizar una implantación del prototipo completa únicamente en todos los talleres.

Cabe también resaltar, que todos los software tienen la importancia de poder realizarse una mejora de la precisión del sistema, basado en RSSI o cantidad de potencia. En todos se precisa de realizar, a través de los mismos, de un mapeado o lectura de potencia en ciertos puntos de la zona a tratar. En este caso los puntos ya han sido remarcados en el proyecto, como los puntos de interés. Este tipo de procesos son los que han servido para la gran mejoría de este tipo de sistemas de localización en interiores y los colocan en una posición muy ventajosa, en los últimos años.

9. Presupuesto

En este capítulo se analizará el presupuesto para la propuesta anteriormente explicada, utilizando uno de los programas, también anteriormente propuesto, y las estaciones propuestas para la implantación. Se dividirá el presupuesto en diferentes conceptos: Software, Hardware, mantenimiento y desarrollo. A partir de los cuales se calcularán los presupuestos totales.

Para el presupuesto se tendrá en cuenta además de los Access Point calculados, sus correspondientes apoyos para su instalación en los talleres, y además de los elementos propuestos, sus costes para el mantenimiento durante al menos 1 año. Los programas planteados para la realización del presupuesto serán los pertenecientes a la marca Aruba, cuyas licencias están adaptadas al número de AP totales (16).

Para la aproximación del presupuesto por el desarrollo de la implantación se han utilizado diferentes ofertas obtenidas a través de consultas a empresas externas especializadas en servicios de tecnología e innovación. Este presupuesto siempre sería una aproximación dependiente del nivel de trabajo requerido, teniendo en cuenta el estudio del entorno, la búsqueda y solución de errores, y el diseño de programación y obtención de datos deseados.

PRESUPUESTO SOFTWARE			
CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL
ARUBA LIC-ALE-1 ANALYTICS AND LOCATION ENGINE 1 AP LICENSE E-LTU	16	14,17 €	226,72 €
ARUBA LIC-AW ARUBA AIRWAVE WITH RAPIDS AND VISUALRF 1 DEVICE	16	29,65 €	474,40 €
TOTAL PRESUPUESTO SOFTWARE			701,12 €

Tabla 9.1.- Presupuesto Software

PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO			
CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD/ANUAL	PRECIO TOTAL/ANUAL
ARUBA MAIN-ALE-1 ANALYTICS AND LOCATION ENGINE	16	7,00 €	112,00 €
ARUBA MAIN-AW ARUBA AIRWAVE WITH RAPIDS AND VISUALRF	16	11,00 €	176,00 €
TOTAL PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO			288,00 €

Tabla 9.2.-Presupuesto de mantenimiento.

PRESUPUESTO HARDWARE			
CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL
Aruba AP-303	10	185,29 €	1.852,90 €
AP-220-MNT-W1W FLAT SURFACE WALL/CEILING WHITE AP BASIC FLAT	10	14,17 €	141,70 €
TOTAL PRESUPUESTO HARDWARE			1.994,60 €

Tabla 9.3.-Presupuesto Hardware.

PRESUPUESTO DESARROLLO			
CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL
Desarrollo	1	24.000,00 €	24.000,00 €
TOTAL PRESUPUESTO DE DESARROLLO			24.000,00 €

Tabla 9.4.- Presupuesto de desarrollo.

PRESUPUESTO TOTAL		
CONCEPTO	PARCIALES	TOTALES
Presupuesto software	701,12 €	701,12 €
Presupuesto de mantenimiento	288,00 €	989,12 €
Presupuesto Hardware	1.994,60 €	2.983,72 €
Presupuesto de desarrollo	24.000,00 €	26.983,72 €
Imprevistos(5%)	1.349,19 €	28.332,91 €
Beneficio industrial (5%)	1.349,19 €	29.682,09 €
IVA(21%)	6.233,24 €	35.915,33 €
PRESUPUESTO TOTAL		35.915,33 €

Tabla 9.5.- Presupuesto total.

10. Líneas para el futuro

Este apartado desarrollará diversas opciones de cara al futuro de la implantación, y a la mejora de la misma, teniendo en cuenta la posible evolución de la tecnología. Se tendrá en cuenta la implantación propuesta y las diferentes posibilidades que aporta.

El desarrollo principal vendría dado por la mejora de la implantación de localización a través de antenas Wifi. En este caso lo principal sería una búsqueda de la mejora de la precisión del sistema paulatinamente, en este aspecto se vería preciso el realizar análisis continuos de los niveles de señal o huella de potencia, de forma que se puedan tener datos para cualquier posible perturbación variable, como podrían ser la fabricación de piezas de gran tamaño o la instalación de maquinaria de gran tamaño. Para esta labor todos los programas constarían con diferentes herramientas de cálculo de comportamiento de onda, de forma teórica sobre los planos de los talleres, y de medición de nivel de potencia en lugares puntuales, las cuales en combinación funcionarían en la mejora de una precisión de forma continua y constante.

Otra de las propuestas que quedaría abierta sería la combinación en cierto momento de las tecnologías Wifi y Bluetooth, la ya explicada tecnología híbrida. Esta tecnología podría tenerse en cuenta, ya que los dispositivos propuestos para la implantación mantienen una posibilidad de actuar como balizas, por lo cual de cara a mayor desarrollo siempre se podría ir en esta dirección, tratando de obtener el máximo beneficio sobre ambas tecnologías, la precisión del Bluetooth y el área de acción de las antenas Wifi. Este tipo de tecnologías actualmente resultaría de mayor dificultad de implantación ya que su desarrollo no está del todo avanzado, en cambio en un futuro si podría resultar económica y tecnológicamente rentable y posible.

11. Conclusión

Este capítulo explicará todas las debilidades y fortalezas que tiene el sistema diseñado para la implantación. Así como, la conclusión final del proyecto y sobre la labor realizada para la empresa y sus beneficios.

La realización de este apartado servirá como análisis del proyecto y el conocimiento adquirido durante la realización del mismo, consiguiéndose así una valoración completa del desarrollo de este proyecto.

11.1. Debilidades

Este apartado servirá como resumen de todas las debilidades estudiada sobre la implantación de localización indoor, durante la realización del trabajo. Pudiéndose así conocer los puntos débiles a subsanar de cara al futuro.

La debilidad más genérica de estos sistemas se basaría en que la mayoría de sistemas aún resultan muy novedosos, por tanto, precisan de un gran desarrollo tanto de software como de hardware.

El sistema implementado tiene una clara debilidad inicial, en posible comparación con otro tipo de sistemas y en una etapa inicial de la implementación, la precisión es menor que en el uso de otro tipos de tecnologías. Esta precisión, como se ha explicado anteriormente, se puede mejorar desarrollando una serie de procesos. A pesar que en la actualidad el sistema ha conseguido llegar a grandes resultados con la utilización de métodos RSSI, y el proceso del fingerprinting.

Requiere de un gran desarrollo que sirva de implementación en un sistema interno en la empresa, guardado de datos en la nube, Probablemente esta sea la mayor desventaja de todos los sistemas, como ya se ha comentado, y que a su vez es la que encarece cualquier tipo de implantación, ya que cualquier tecnología requiere de un gran desarrollo de programación y actualización para adaptarse a los sistemas de las empresas, ya que no existe una gran estandarización.

Otra de las posibles debilidades del sistema, que más podrían afectar económicamente, sería la necesidad de realizar obra de cableado red para la implantación del sistema en ciertos talleres, que en otras tecnologías significaría la implantación de sensores o diferentes hardwares para las implantaciones, que no cuentan con las instalaciones necesarias para la realización de la implantación. Esto es también, junto con el desarrollo de programación, sería la parte que más podría encarecer cualquier tipo de implantación a realizar, siendo la tecnología elegida la única con la que ya se cuenta con cierto nivel de implantación con puntos red y estaciones desde un principio.

En conclusión, la debilidad de esta tecnología únicamente sería en cierta medida su precisión, la cual hoy en día está muy mejorada, y las debilidades que puede compartir con el resto de las implantaciones tenidas en cuenta, que sería el encarecimiento debido a desarrollo y obra de instalaciones que se podría llegar a tener.

11.2. Fortalezas

En este apartado se tratarán las grandes fortalezas que se pueden obtener, por la información estudiada en este proyecto. Las cuales han servido para valorar muy positivamente este tipo de tecnología.

La principal fortaleza de este sistema sería la evolución que la tecnología Wifi está teniendo como tecnología en los últimos años, esto ha conllevado que muy rápidamente se adapte a las exigencias de los diferentes dispositivos y sea una de las tecnologías más punteras, en auge hoy en día. Esto lleva a que sea un sistema muy evolucionado y estudiado, con las facilidades y ventajas que esto conlleva. Además de ser una tecnología en continuo crecimiento, que aun hoy en día tiene mucho más recorrido para el futuro.

Otra de sus principales fortalezas sería la disponibilidad de productos ya implantados en la empresa, que tienen una compatibilidad clara con esta tecnología, ya que está muy integrada en la sociedad. Esto ayuda al ahorro en materia de instalación y obra en planta.

Se tiene en cuenta además, que actualmente el desarrollo de estas implantaciones comienzan a tener un gran recorrido, y actualmente se ha conseguido por métodos propios de cada desarrollador, una importante mejora de la precisión.

En conclusión, las mayores fortalezas del uso de esta tecnología vendrían derivadas de la gran aceptación e implantación en la sociedad de hoy en día de la misma, que permite la evolución continua y rápida, acompañada del resto de tecnologías de la comunicación, con lo que es una tecnología que actualmente no se le conoce límite en su evolución. Esto ayuda además ante el factor de que estos sistemas son aún muy novedosos.

11.3. Beneficios

En este apartado se analizará los beneficios que aportaría, de cara a la empresa, la implantación final de este sistema. Se expondrá los beneficios estudiados en cuanto a desarrollo e información susceptible de ser utilizada por parte de la empresa.

- El estudio de esta tecnología muestra la posibilidad de realizar la trazabilidad de los operarios en el interior del taller en tiempo real, y a su vez podría permitir la retención de datos en la nube, de esa misma trazabilidad.
- Un desarrollo de cualquiera de los programas permitiría la Generación de huellas de calor que ayudaría en el estudio de métodos y tiempos de producción.
- El sistema, a pesar de ser novedoso y estar integrado en la industria 4.0, está implantado y desarrollado en diferentes sectores, como hospitales, centros comerciales, pequeños comercios..., minimizando los riesgos de fallos que pudiera conllevar, y habiendo ya sido probado en estos diferentes ámbitos al margen de la industria.
- Se potenciaría la capacidad de transmisión de datos conjuntamente con la implantación de puntos de acceso para la localización. Ya que ambas cosas en este caso irían directamente relacionadas, habiéndose hecho un análisis de los puntos débiles de red del sistema.
- Con la implantación de ciertos programas, que se precisan para la realización de la localización, además se consigue un aporte en seguridad de red, elemento vital hoy en día dado que todos los datos de las empresas se mueven vía red.

Todos estos beneficios son los que finalmente vienen como resultado del estudio de las diferentes tecnologías, para la implantación de la localización indoor, y la valoración de la tecnología elegida y todas las estudiadas en este proyecto.

11.4. Conclusión final

Finalmente, se comentará las conclusiones obtenidas ante la realización del proyecto en la empresa y la finalización del mismo, teniendo en cuenta el trabajo y la estancia en la misma.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente comentados, se llega a la conclusión de que el sistema elegido resultaría muy equilibrado, para la realización de la implantación de localización. Se considera que la opción aportada por el proyecto es una posibilidad sólida de implantación con una base fuerte y estudiada, aportando además información al respecto de otro tipo de tecnologías, que también podrían resultar objeto de implantación según decisión de la empresa.

Este proyecto se ha realizado en la empresa Mefasa, perteneciente al grupo Glencore. Se ha conseguido realizar el trabajo de forma satisfactoria, tanto para la empresa como para el propio alumno en prácticas. Durante el transcurso de la misma se han realizado diferentes reuniones con diversas empresas tecnológicas, obteniéndose así gran cantidad información sobre el tema a tratar y dando apoyo en la toma de decisiones, con los conocimientos adquiridos, a la empresa.

En conclusión, se ha tomado la decisión por parte de la empresa y con ayuda de este proyecto y el alumno, conjuntamente, de realizar la implantación del sistema de localización en interiores, por lo que se realizara por parte de una empresa externa a la propia Mefasa, subcontratada para esta labor y otras en relación a la industria 4.0.

12. Bibliografía

«Mefasa,» [En línea]. Available: <http://www.mefasa.com/>. [Último acceso: 7
1] Febrero 2019].

«Mefasa,» [En línea]. Available:
2] <http://www.mefasa.com/actividad.html#.XHzy6PzFyUk>. [Último acceso: 7 Febrero
2019].

«Mefasa,» [En línea]. Available:
3] <http://www.mefasa.com/desarrollo.html#.XHzyZKPzFyUk>. [Último acceso: 7 Febrero
2019].

«Wikipedia,» [En línea]. Available:
4] [https://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci3n_Industrial#Etapas_de_la_Revoluci3n_Industr
ial](https://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci3n_Industrial#Etapas_de_la_Revoluci3n_Industrial). [Último acceso: 6 Febrero 2019].

«Maquinaria e industria,» [En línea]. Available:
5] <http://www.maquinariaeindustria.es/cintas-transportadoras-cadena-montaje/>. [Último
acceso: 20 Abril 2019].

«Cantabric,» [En línea]. Available: [http://www.cantabriatic.com/industria-4-0-
6\] sistemas-ciber-fisicos/](http://www.cantabriatic.com/industria-4-0-sistemas-ciber-fisicos/). [Último acceso: 7 Febrero 2019].

«Wikipedia,» [En línea]. Available:
7] https://es.wikipedia.org/wiki/Computaci3n_en_la_nube. [Último acceso: 22 Abril
2019].

«Wikipedia,» [En línea]. Available:
8] https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado. [Último acceso: 7 Febrero 2019].

Gobierno de España, «BOE,» [En línea]. Available:

9] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12318>. [Último acceso: 9 Febrero 2019].

P. Krizt, F. Maly y T. Kozel, «Improving Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons,» *Hindawi*, Febrero 2019.

]

«Profesional Review,» [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2017/11/18/cuales-principales-protocolos-wifi/>. [Último acceso: 9 Febrero 2019].

R. Brena, J. P. García-Vázquez, C. Gálvan-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales y J. Fangmeyer, «Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey,» *Hindawi*, Febrero 2019.

«Microsoft,» [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/radar/?from=http%3A%2F%2Fresearch.microsoft.com%2Fen-us%2Fprojects%2Fradar%2F>. [Último acceso: 14 Febrero 2019].

«Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>. [Último acceso: 15 Febrero 2019].

]

L. Díaz-Ambrona, «Universidad Politécnica de Madrid,» [En línea]. Available: http://oa.upm.es/947/1/PFC_LUIS_DIAZ_AMBRONA.pdf. [Último acceso: 15 Febrero 2019].

«Silicon Labs,» [En línea]. Available: <https://www.silabs.com/whitepapers/bluetooth-angle-estimation-for-real-time-locationing>. [Último acceso: 15 Febrero 2019].

«Bluetooth,» [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology>. [Último acceso: 15 Febrero 2019].

]

«3300hms,» [En línea]. Available:
18 [https://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-](https://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-v5-0/)
] [v5-0/](https://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-v5-0/). [Último acceso: 15 Febrero 2019].

«Ruodiantong,» [En línea]. Available: [http://www.inteligentes.online/Sistemas-](http://www.inteligentes.online/Sistemas-de-Posicionamiento-Global/RFID/Ventajas-y-desventajas-de-la-tecnología-RFID-.html)
19 [de-Posicionamiento-Global/RFID/Ventajas-y-desventajas-de-la-tecnología-RFID-](http://www.inteligentes.online/Sistemas-de-Posicionamiento-Global/RFID/Ventajas-y-desventajas-de-la-tecnología-RFID-.html)
] [.html](http://www.inteligentes.online/Sistemas-de-Posicionamiento-Global/RFID/Ventajas-y-desventajas-de-la-tecnología-RFID-.html). [Último acceso: 16 Febrero 2019].

B. García, «Libremercado,» 12 Marzo 2016. [En línea]. Available:
20 [https://www.libremercado.com/2016-03-12/zara-matricula-sus-prendas-sus-](https://www.libremercado.com/2016-03-12/zara-matricula-sus-prendas-sus-dependientas-no-volveran-a-pisar-el-almacen-1276569526/)
] [dependientas-no-volveran-a-pisar-el-almacen-1276569526/](https://www.libremercado.com/2016-03-12/zara-matricula-sus-prendas-sus-dependientas-no-volveran-a-pisar-el-almacen-1276569526/). [Último acceso: 17
Febrero 2019].

«Ecured,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/ZigBee>. [Último
21 acceso: 17 Febrero 2019].
]

«Zigbee,» [En línea]. Available: <https://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>.
22 [Último acceso: 17 Febrero 2019].
]

[En línea]. Available:
23 <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/1/InformeTecZB.pdf>. [Último acceso:
] 18 Febrero 2019].

«Gradiant,» [En línea]. Available: [https://www.gradiant.org/noticia/uwb-](https://www.gradiant.org/noticia/uwb-posicionamiento-radar-y-mucho-mas-2/)
24 [posicionamiento-radar-y-mucho-mas-2/](https://www.gradiant.org/noticia/uwb-posicionamiento-radar-y-mucho-mas-2/). [Último acceso: 17 Febrero 2019].
]

«Ubisense,» [En línea]. Available: <https://www.ubisense.net/>. [Último acceso:
25 17 Febrero 2019].
]

A. Legarretaetxebarria, «Universidad del País Vasco,» Septiembre 2011. [En

26 línea]. Available:
] <https://www.ehu.eus/documents/1545039/1570316/11alegarretaech.pdf>. [Último
acceso: 18 Febrero 2019].

«Ingeniacity,» [En línea]. Available: <https://www.ingeniacity.com/proyectos/>.
27 [Último acceso: 11 Marzo 2019].

]]

I. T. Rubio, «Universidad politécnica de Cataluña,» Abril 2010. [En línea].
28 Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/41797367.pdf>. [Último acceso: 19 Febrero
] 2019].

«Researchgate,» [En línea]. Available:
29 [https://www.researchgate.net/publication/255673070_The_New_EasyLiving_Project_a](https://www.researchgate.net/publication/255673070_The_New_EasyLiving_Project_a_t_Microsoft_Research)
] [t_Microsoft_Research](https://www.researchgate.net/publication/255673070_The_New_EasyLiving_Project_a_t_Microsoft_Research). [Último acceso: 19 Febrero 2019].

G. Del Campo-Jimenez, J. Perandones y F. Lopez-Hernandez, «A VLC-based
30 beacon location system for mobile,» *International Conference on Localization ang*
] *GNSS*, 2013.

P. Kriz, F. Maly y T. Kozel, «Hindawi,» Enero 2016. [En línea]. Available:
31 <https://www.hindawi.com/journals/misy/2016/2083094/abs/>. [Último acceso: 24
] Febrero 2019].

R. Pérez, «Sistema de localización en Interiores Basado en Comunicaciones
32 Ópticas no Guiadas por Luz Visible,» *Academia*, 2017.

]]

«Honeywell,» [En línea]. Available:
33 [https://aidc.honeywell.com/CatalogDocuments/scanpal-eda50-handheld-computer-](https://aidc.honeywell.com/CatalogDocuments/scanpal-eda50-handheld-computer-data-sheet-es-es.pdf)
] [data-sheet-es-es.pdf](https://aidc.honeywell.com/CatalogDocuments/scanpal-eda50-handheld-computer-data-sheet-es-es.pdf). [Último acceso: 9 Marzo 2019].

«Aruba,» [En línea]. Available:
34 https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP103Series.pdf. [Último acceso: 25

] Febrero 2019].

«Aruba,» [En línea]. Available:
35 https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP207Series.pdf. [Último acceso: 25
] Febrero 2019].

«Aruba,» [En línea]. Available:
36 [https://www.arubanetworks.com/es/productos/productos-de-red/gestion/gestion-de-
\] redes/](https://www.arubanetworks.com/es/productos/productos-de-red/gestion/gestion-de-redes/). [Último acceso: 28 Febrero 2019].

«Aruba,» [En línea]. Available:
37 [https://www.arubanetworks.com/es/productos/servicios-de-ubicacion/analisis/motor-
\] de-analisis-y-ubicacion/](https://www.arubanetworks.com/es/productos/servicios-de-ubicacion/analisis/motor-de-analisis-y-ubicacion/). [Último acceso: 18 Febrero 2019].

«S,» Situm , [En línea]. Available: <https://situm.es/es/tecnologia>. [Último
38 acceso: 5 Marzo 2019].
]

[En línea]. Available: <https://www.ekahau.com/>. [Último acceso: 28 Marzo
39 2019].
]

[En línea]. Available:
40 [https://www.comp.nus.edu.sg/~medialab/graphics%20lab/Ekahau%20Positioning%20
\] Engine%20UserGuide.pdf](https://www.comp.nus.edu.sg/~medialab/graphics%20lab/Ekahau%20Positioning%20Engine%20UserGuide.pdf). [Último acceso: 28 Marzo 2019].

«Digitalnewsasia,» [En línea]. Available:
41 [https://www.digitalnewsasia.com/insights/understanding-wifi-signal-strength-vs-wifi-
\] speed](https://www.digitalnewsasia.com/insights/understanding-wifi-signal-strength-vs-wifi-speed). [Último acceso: 9 Mayo 2019].

M. Balart, A. Bouzina, L. Edwards y M. Fitzpatrick, The onset of tensile
42 residual stress in grinding of hardened steel, 2004.
]

K. Wooseong, Y. Sungwon, M. Gerla y E.-K. Lee, «Crowdsourcing Based Indoor

43 Localization by Uncalibrated Heterogeneous Wi-Fi Devices,» *Hindawi*, 2016.

]

R. Pérez, «EL LED AZUL: SU APLICACIÓN EN COMUNICACIONES POR
44 LUZ INVISIBLE,» *Academia*, 2017.

]