



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TELECOM ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE **UPV** INGENIEROS
DE TELECOMUNICACIÓN

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA DE LOCALIZACIÓN DE BAJO COSTE EN LA EMPRESA

Pablo García Garrido

Tutor: Hermenegildo Gil Gómez

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2017-18

Valencia, 02 de julio de 2018

Resumen.

El proyecto consta de dos partes fundamentales: en una primera parte se revisan los sistemas de posicionamiento global en un breve marco teórico para justificar la parte práctica que se trata en la segunda parte.

La parte práctica recoge el trabajo de un proyecto real, que se ha realizado durante tres meses, en una empresa de base tecnológica en la Universitat Politècnica de València.

Durante estas prácticas se pretendía analizar y evaluar una serie de dispositivos de localización de bajo coste con la finalidad de justificar, cuál se adapta mejor a la plataforma de servicios de gestión y localización de la empresa y así desarrollar un nuevo modelo de negocio.

Dicho análisis se abordó bajo unas premisas muy claras, como son tipo de alimentación, conectividad, durabilidad, calidad y tamaño, entre otras, tratando de elegir adecuadamente el localizador que se implantaría en esta empresa.

Abstract.

The project consists of two fundamental parts: in the first part, the global positioning systems are reviewed in a brief theoretical framework trying to justify what is studied the practical part

The practical part includes the work of a real project, which has been done for three months, in a technology-based company at the Universitat Politècnica de València.

During these practices, a set of low-cost localization devices was intended to analyze and evaluate in order to justify which one was the best adapted at the management and localization services platform of the company and thus develop a new business model.

This analysis was realized under very clear premises, such as type of power, connectivity, durability, quality and size, among others, trying to properly choose the locator that would be implemented in this company.

Resum.

El projecte consta de dos parts fonamentals: en una primera part es revisen els sistemes de posicionament global en un breu marc teòric per justificar la part pràctica que es tracta en la segona part.

La part pràctica arreplega el treball d'un projecte real, que s'ha realitzat durant tres mesos, en una empresa de base tecnològica en l'Universitat Politècnica de València.

Durant aquestes pràctiques es pretenia analitzar i avaluar una sèrie de dispositius de localització de baix cost amb la finalitat de justificar, quin s'adapta millor a la plataforma de servicis de gestió i localització de l'empresa i així desenvolupar un nou model de negoci.

Aquest anàlisi es va abordar baix unes premisses molt clares, com són tipus d'alimentació, connectivitat, durabilitat, qualitat i grandària, entre d'altres, tractant de triar adequadament el localitzador que s'implantaria en aquesta empresa.

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
Capítulo 2. Objetivo y Justificación.....	2
Capítulo 3. Métodos de Localización.....	3
3.1 Antecedentes.	3
3.1.1 Primeros Artículos de Navegación.....	5
3.2 Sistemas modernos de navegación.....	8
3.2.1 Sistema LORAN.....	9
3.2.2 Localización por Satélite.	12
3.2.2.1 Principios Básicos.....	13
3.2.2.1.1 Leyes de Kepler	13
3.2.2.1.2 La Ecuación de la Vis-Viva	13
3.2.2.1.3 Trilateración.....	16
3.2.2.2 Estudio del Sistema.....	17
3.2.2.2.1 Constelación.....	17
3.2.2.2.2 Estructura	19
3.2.2.2.3 Tiempo.	21
3.2.2.2.4 Señales y Códigos.....	22
3.2.2.2.5 Receptor.....	25
3.2.2.2.6 Errores y Precisión.....	26
3.2.3 Otros Métodos de Localización.....	29
3.2.3.1 Bluetooth.	29
3.2.3.2 WI-FI.	30
3.2.3.3 LBS.....	32
3.2.3.3.1 GSM.....	33
3.2.3.3.2 GPRS.	34
Capítulo 4. Aplicación práctica en la empresa.	35
4.1 Introducción.	35
4.1.1 Antecedentes de la empresa.	35
4.2 Problemática.....	38
4.2.1 Nuevas vertientes de negocio..	38

4.3	Búsqueda de los dispositivos.....	39
4.3.1	Estudio del vendedor.....	39
4.3.2	Parámetros y características.....	39
4.3.3	Selección de los dispositivos.....	41
4.4	Análisis general.....	42
4.4.1	XCSOURCE AH207.....	42
4.4.2	TONGSHI Mini.....	42
4.4.3	GL300.....	43
4.4.4	VEHICLE TRACKER.....	43
4.4.5	CITTATREND TK102B.....	44
4.4.6	TONGSHI TK102B.....	44
4.5	Integración y testeo.....	46
4.5.1	XCSOURCE AH207.....	46
4.5.1.1	Especificaciones y Circuitería Básica.....	46
4.5.1.2	Configuración del dispositivo.....	48
4.5.1.3	Fase de pruebas.....	49
4.5.1.4	Conexión con la plataforma.....	50
4.5.2	GL300.....	52
4.5.2.1	Especificaciones y Circuitería Básica.....	52
4.5.2.2	Configuración del dispositivo.....	54
4.5.2.3	Fase de pruebas.....	55
4.5.2.4	Conexión con la plataforma.....	56
4.6	Toma de Decisiones. Elección.....	57
Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras.....		58
Capítulo 6. Anexos.....		59
6.1	Listados.....	59
6.1.1	Figuras.....	59
6.1.2	Fórmulas.....	62
6.1.3	Tablas.....	62
6.2	Tabla comparativa.....	62
Capítulo 7. Bibliografía.....		64

Capítulo 1. Introducción.

La Integración de las tecnologías de la información y las comunicaciones es algo crítico en las organizaciones de cualquier sector productivo y facilita los procesos de negocio y la optimización y eficiencia de las operaciones en las empresas de dicho sector.

La pregunta que nos debemos hacer es ¿están preparadas las empresas para enfrentarse a la economía global y cada vez más digital?

Hoy en día las empresas deben de contar con sistemas de información que les permita obtener información veraz y fiable y que les ayude a una toma de decisiones más precisa y efectiva

Los progresos en las denominadas (TIC), Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, que abarcan los equipos y aplicaciones informáticas y las telecomunicaciones, están teniendo un gran efecto. De hecho, se dice que estamos en un nuevo tipo de sociedad llamada Sociedad de la Información o Sociedad de Conocimiento, que viene a reemplazar a los dos modelos socioeconómicos precedentes, la sociedad agraria y la sociedad industrial.

En muchas ocasiones podemos apreciar que algunos negocios aun no entienden lo importante que es el uso de las tecnologías, lo que no les permite crecer como empresa y poder desarrollarse de una manera más eficiente en el mercado, con lo que están perdiendo la oportunidad de obtener mayores ganancias y obtener más clientes. Esto ocurre especialmente en el sector transporte

Muchas empresas están tomando la decisión de reestructurar sus TIC, ya que se están notando todos los cambios positivos que esto implica para su negocio. Es muy importante que logren identificar cuando es necesario cambiar sus procesos de información, siempre y cuando estos no estén funcionando correctamente.

El uso de la tecnología en las empresas hoy en día es fundamental para lograr tener una estabilidad en el mercado y ser rentables. Además de que, prácticamente, sin el uso de estas herramientas, los procesos de gestión serian más complejos y de que el control de la información no sería adecuada, lo que se traduce en un grave problema para el desarrollo de las empresas.

Este proyecto nace como consecuencia de una práctica en una empresa de base tecnológica de la Universitat Politècnica de Valencia, cuyo producto principal es ofrecer a través de una plataforma de localización y gestión del transporte, servicios tecnológicos a las empresas del sector transporte.

Capítulo 2. Objetivo y Justificación.

El objetivo principal del proyecto es encontrar un dispositivo de localización de bajo coste y fácil de instalar para poder integrarlo en la plataforma software de la empresa. De esta forma se podrá dar una solución económica a un mercado ahora en expansión, como es el uso de bicicletas o automóviles eléctricos.

Pero existen otros objetivos como los de ampliar y dar uso a los conocimientos adquiridos durante la carrera en un proyecto real y con una posible implantación, buscando desentrañar cuales son los conceptos más importantes en este ámbito, entender profundamente el funcionamiento de estos dispositivos y de esta manera poder hallar una solución a la problemática planteada.

Otro objetivo del proyecto es el experimentar el proceso de desarrollo de un nuevo modelo de negocio en una empresa asentada y con mucha experiencia en el uso de esta tecnología

Capítulo 3. Métodos de Localización.

3.1 Antecedentes.

La habilidad de saber cuál es tu posición en un entorno concreto siempre ha sido de suma importancia. Saber donde cazar, encontrar agua o donde están las plantas medicinales que deben usarse para curar ciertas enfermedades o heridas ha sido de vital importancia para poder evolucionar como especie. Todo parte de la facilidad del ser humano para encontrar patrones y localizar objetos familiares. En los orígenes de la especie, se aprendió a distinguir donde el agua aparece con más frecuencia, a usar ciertas plantas o buscar en lugares determinados.

Al principio el entorno donde uno debía orientarse era relativamente pequeño y la forma de hacerlo se podía conseguir gracias a determinadas referencias, un árbol conocido o quizá un rio o montaña que hubiera en esa zona, en definitiva a la distinción de marcas terrestres. El problema es que estas referencias están sujetas a cualquier desastre geográfico posible o cambio natural del entorno.

Dado ese problema, se empezaron a buscar métodos distintos, uno de ellos fue la orientación mediante signos que permanezcan o sigan patrones conocidos y *a priori* inalterables. Pero esto también tiene sus limitaciones. Si decidimos orientarnos por el Sol, solo podremos hacerlo por la mañana y si decidimos ayudarnos de las estrellas, solo tendremos esa posibilidad por las noches.

La orientación con el Sol, es sencilla, requiere un poco de paciencia y saber que estemos donde estemos saldrá aproximadamente por el Este. Se basa en la observación del astro al mediodía solar, el punto de mayor altura sobre el horizonte, En este momento se puede aproximar que la línea que une el punto de observación y el Sol, es la línea Norte-Sur. También depende del hemisferio en el que nos encontremos, por lo tanto, si nos encontramos en el hemisferio norte, querrá decir que estamos mirando hacia el Sur, resolviendo de esta forma el resto de los puntos cardinales. Si por el contrario estamos en el hemisferio sur, procediendo de forma análoga, podremos determinar que estamos mirando hacia el Norte y por lo tanto a nuestra derecha estará el Este.

Por el contrario, para poder orientarnos de noche, tendremos que recurrir al estudio de las estrellas. Si estamos en el hemisferio sur podemos guiarnos por la Cruz del Sur, una constelación en forma de rombo compuesta por cuatro estrellas, o por la Estrella Polar, si nos encontramos en el hemisferio norte.

Para guiarnos por la Estrella Polar, debemos encontrar la constelación de la Osa Menor, esta la forman entre otras, la estrella buscada. Esta amalgama de astros es poco luminosa, por lo que podemos ayudarnos de otras dos estrellas para que resulte más sencillo encontrarla. Son, la Osa Mayor y la de constelación de Casiopea.

Una vez localizada la Osa Mayor, podemos prolongar la línea que une las estrellas más cercanas al horizonte y a una distancia de unas 5 veces la longitud del primer segmento, encontraremos la Estrella Polar.

Otra forma es mediante la constelación de Casiopea, la bisectriz del ángulo formado por las tres estrellas más cercanas al horizonte nos darán una idea de donde se encuentra la Estrella Polar.

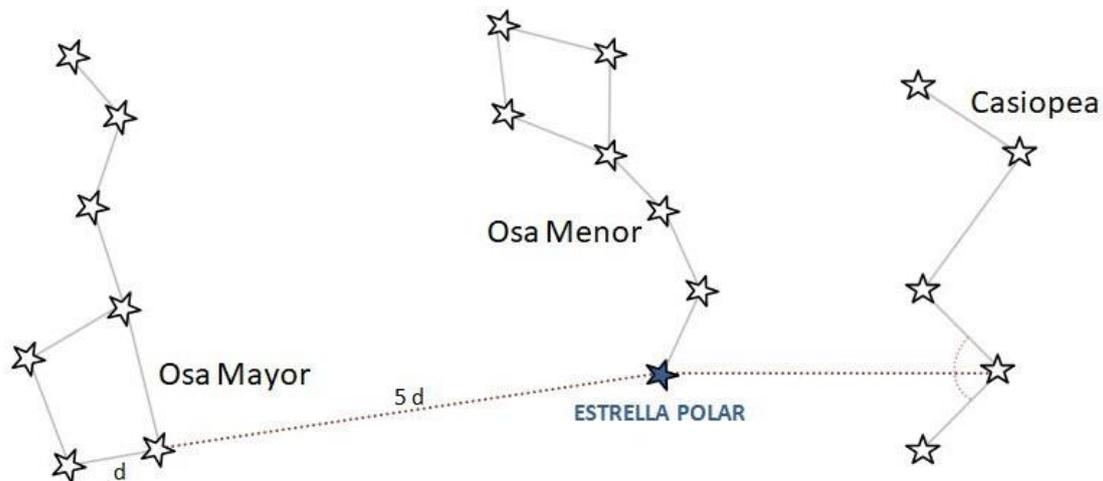


Figura 1: Estrella Polar. Elaboración Propia.

Si nos encontramos en el hemisferio sur, no podremos ver la Estrella Polar, ya que a partir del paralelo del ecuador el horizonte la oculta, por lo tanto el método a usar consiste en localizar la Cruz del Sur, después se han de trazar dos líneas, una perpendicular al horizonte y una prolongación de unas 4,5 veces la línea que une las dos estrellas más alejadas que forman la Cruz del Sur, de ese modo, al cortarse ambas líneas darán lugar a un punto imaginario que sitúa la posición del sur en nuestro entorno.

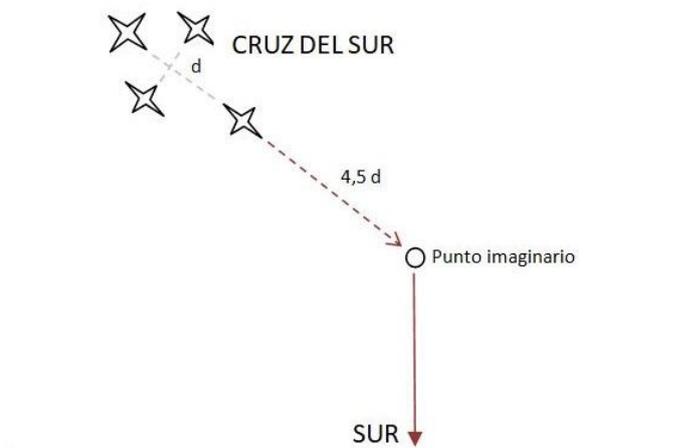


Figura 2: Cruz del Sur. Elaboración Propia.

Una vez localizado el Norte o el Sur, mediante la Rosa de los Vientos, podremos distinguir el resto de puntos cardinales.

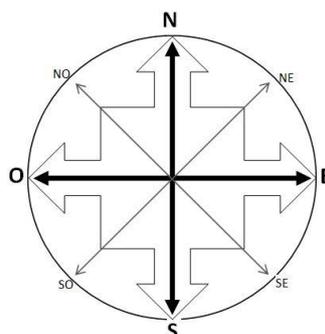


Figura 3: Rosa de los Vientos. Elaboración Propia.

3.1.1 Primeros Artilugios de Navegación.

Para que la orientación sea más fácil y más exacta, es necesario disponer de herramientas que nos permitan extraer información de nuestro entorno, de forma sencilla y rápida, sin necesidad de cálculos complejos. Para resolver esto, se inventaron distintas herramientas, unas más precisas que otras.

La primera y más icónica, es la brújula. Es datada en la antigua China. Es una herramienta muy sencilla pero que hace uso de la física más compleja. Básicamente es un metal imantado que se orienta en dirección Norte – Sur magnético. Cuanta menos resistencia tenga con su entorno cercano, más fácil le resulta al metal apuntar al Norte. En sus inicios, esta herramienta consistía en una aguja imantada sobre una hoja, flotando en una vasija de agua. Progresivamente, se han ido mejorando hasta llegar a las que tenemos en la actualidad.

Una de las mejoras que se hicieron en la brújula, es la de inscribir sobre la esfera, la llamada Rosa de los Vientos, un símbolo que hace referencia a los rumbos en que se divide la circunferencia del horizonte. La invención de este símbolo se debe a Ramon Llull, un español que se ayudó de los escritos de “Plinio El Viejo” para desarrollarla.

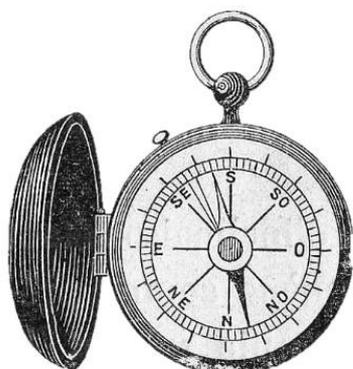


Figura 4: Brújula.

Fuente: Éditions Vuibert et Nony



Figura 5: Primera Rosa de los Vientos.

Fuente: [Joaquim Alves Gaspar](#)

Otro uso de la Rosa de los Vientos es la construcción de las cartas de navegación o cartas portulanas. Consiste en formar una malla a partir del cruce de los rayos de dos o más rosas, esto permite la orientación mediante las brújulas cuando los marineros se lanzaban al mar intentando descubrir nuevos paraderos.



Figura 6: Un ejemplo de cartografía portulana.

Fuente: <https://history.mcc.edu/wordpress/history/>

También fueron muy importantes estos otros tres instrumentos, muy usados también en navegación marítima. Son el astrolabio, el cuadrante de Davis y el sextante.



Figura 7: Dibujo de un astrolabio.

Fuente: <http://www.horaryastrology.info>

Esta herramienta era muy útil para encontrar astros, determinar la latitud en la que el individuo se encontraba, estudiar el comportamiento de las estrellas observadas etc.

Este artefacto está compuesto por diversas piezas, entre ellas se distinguen el cenit, anilla superior, el horizonte, las líneas de altitud, el azimut, la elíptica y los trópicos de Cáncer y Capricornio.

El astrolabio se coge del cenit (una cadena enganchada al anillo de la parte superior) para que la gravedad consiga que se alinee con el plano horizontal.

Una vez en esta posición, basta con mover la aguja apuntando al cuerpo bajo observación para calcular su distancia angular con el horizonte. Aparte de los usos

convencionales para la astronomía, también se podía usar para medir alturas, distancias e incluso el símbolo del zodiaco que ocupa el Sol.

Otra herramienta menos conocida pero igualmente utilizada, es el cuadrante de Davis, figura 8, sustituye al astrolabio, si bien es cierto, es algo menos compleja y precisa que el sextante. Es una herramienta que usa la sombra del Sol sobre los objetos, lo que elimina lesiones en los ojos.

Se hacen coincidir varias sombras, que proporcionan la altura del Sol sobre el horizonte. Debemos orientar el segmento AB con el horizonte y luego mover por el segmento de arco I, una pieza que proyecta sobre A su sombra, dando lugar a la medida deseada.

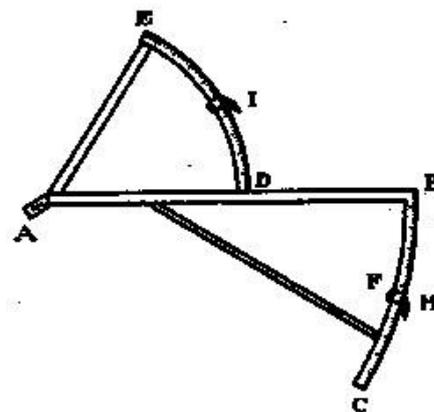


Figura 8: Dibujo del cuadrante de Davis.

Fuente: <https://humorvitreo-optica.blogspot.com>

El sextante, la herramienta mostrada en la (Figura 9), fue la que sustituyó al astrolabio y al cuadrante dada su mayor precisión en las medidas, también se usaba para la medida de ángulos. Normalmente, se utilizaba el Sol y el horizonte como puntos de referencia, si conocemos la elevación del Sol (medida calculada con esta herramienta) y la hora del día, podemos determinar la latitud en la que nos encontramos. Esto, es de gran utilidad si estamos en el océano, sin una referencia terrestre.

Está formado por una serie de espejos que permiten apuntar a dos posiciones a la vez, uno de ellos es fijo y el otro es móvil, la separación angular entre los dos puntos observados quedara reflejada en el arco, un segmento de circunferencia graduado,

también tiene una mira telescópica, que permite localizar con mayor exactitud el astro en cuestión, esta tiene filtros ópticos que permiten proteger al ojo de los rayos perjudiciales del Sol.



Figura 9: Dibujo de un sextante.

Fuente: <http://srufaculty.sru.edu>

Hasta mediados del siglo XVIII, la orientación se basaba en la observación de la estrella polar (regimiento del Norte) o la observación del Sol (regimiento del Sol), en principio con el astrolabio y el cuadrante. Para facilitar estos cálculos, se desarrollaron lo que se conoce como tablas cuadriales, estas ofrecían la declinación del Sol para cada día del año, con estos datos y la observación de la altura del Sol se conseguía “fácilmente” la latitud.

La invención del sextante, mejoró la precisión de las medidas, esto, unido a las progresivas mejoras de esta herramienta, la mantuvo como método fundamental hasta el siglo XX.

El problema en ese momento era la medida de la longitud, que mediante el telescopio y los avances en la astronomía, se pudo llegar a determinar con bastante precisión. Por otro lado, el Real Observatorio de Greenwich, a finales del siglo XVIII empezó a publicar el almanaque náutico, herramienta básica que se sigue utilizando en nuestros días.

Pero aún había otra dificultad que superar, el cálculo del tiempo, era un elemento vital para poder medir con precisión la longitud del observador. Así pues, desde ese momento hasta mediados del siglo XX, todas las investigaciones se centraron en la construcción del cronómetro y por lo tanto del reloj, así como en la reducción de las variables necesarias para realizar estos cálculos. Hasta mediados del siglo pasado, solo usábamos el sextante, el cronómetro y los almanaques para orientarnos en la superficie terrestre.

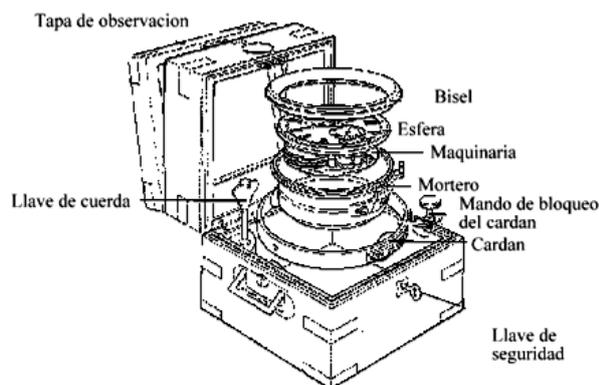


Figura 10: Dibujo de un cronómetro antiguo.

Fuente: <http://www.mundohistoria.org>



Figura 11: Portada del extracto de un almanaque náutico.

Fuente: <https://www.todocoleccion.net/>

3.2 Sistemas modernos de navegación.

La invención del cronómetro determinó de forma drástica la evolución de los métodos de localización, ya que para determinarla fielmente se necesita la variable de tiempo. Desde hace mucho, incluso antes del 1700, ya se había abordado casi todo el estudio teórico para la consecución de la longitud geográfica, mediante observaciones astronómicas tales como los eclipses lunares o mediante el telescopio y conociendo las posiciones de las lunas de Júpiter. Pero todo este estudio se hacía desde tierra, cabe destacar que no se usaban los mismos métodos en los observatorios, que los marinos que navegaban por los océanos. Los marinos podían distinguir perfectamente el horizonte, pero no tenían un sistema de medida temporal fiable. Como dato curioso, los grumetes eran los encargados de girar los relojes de arena cada media hora, para poder estimar la hora del día en la que se encontraban, pero esto no es fiable ni exacto.

No se tuvieron relojes fiables hasta la invención del péndulo de gravedad con un periodo constante, por parte del maestro Galileo Galilei, que dio pie al desarrollo de relojes cada vez más precisos y transportables por barco.

A partir de este momento, todos los esfuerzos se dirigieron a las correcciones y la reducción del coste de cómputo.

Las correcciones más importantes fueron gracias a la mejora del sextante, conforme estos mejoraban, se iban teniendo en cuenta y corrigiendo ciertos errores, algunos de ellos son:

- La refracción atmosférica, especialmente notable en observaciones de baja altura.
- Depresión del horizonte, este está debajo del observador.
- Paralaje, es un error en la posición angular de un objeto. Esto depende de la posición del observador, ya que puede cambiar el orden de los astros, descritos previamente.

Los métodos de reducción fueron en muchos casos gracias a grandes marinos, que gracias a su experiencia y pericia extrajeron patrones que permitieron la resolución más sencilla de los cálculos.

- **Sumner:** el capitán Sumner inventó lo que se conoce actualmente como “Línea de posición”, un segmento de círculo menor llamado circunferencia de alturas iguales. Cualquier observador situado en un punto de esta línea, observaba al astro a la misma altura.
- **Ageton:** este estudiante de la Academia Naval de Annapolis, inventó un método que utiliza una tabla de logaritmos de las funciones trigonométricas, las cuales simplificaban enormemente los cálculos, aún así muy complejos y propensos a errores.
- **Tablas pre-calculadas:** empezaron a publicarse en los años 40, época en la que los pilotos de aviones necesitaban conocer rápidamente su posición. Estas tablas de triángulos esféricos pre-calculados, permitían que con la introducción de tres argumentos, la latitud, la declinación del astro y la diferencia horaria entre el astro y la longitud geográfica, obtener la altura computada y el azimut.
- **Cálculo electrónico:** Aún así, esto llevaba demasiado tiempo y en el siglo XX con la evolución tecnológica, estos cálculos se resuelven de forma instantánea.

3.2.1 Sistema LORAN.

La evolución de la tecnología siempre ha sido impulsada en situaciones de crisis. La Segunda Guerra Mundial impulsó de una manera determinante el campo de las telecomunicaciones. La posibilidad de poder contactar con agentes infiltrados en la otra parte del mundo podía asegurar la supremacía de uno u otro bando. Así pues, durante esta época se desarrolló prácticamente la gran mayoría de la tecnología que tenemos actualmente; se debe añadir, que mucha de esta tecnología está ahora obsoleta, ya que gracias a todos los recursos que se dispusieron, el crecimiento ha sido y sigue siendo exponencial.

Un ejemplo es la tecnología **LORAN** (Long Range Navigation). Es un sistema de ayuda a la navegación electro-hiperbólica, inventado por el físico Alfred Lee Loomis. Este sistema se desarrolló, como se ha dicho anteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial y servía para guiar a los convoyes en su trayecto por el Océano Atlántico, para poder proveer de alimento y demás necesidades a las tropas enviadas a la guerra. Poco después, este uso se extrapoló a la orientación y guiado de otras naves y aviones a casi todo el resto del planeta, excluyendo a los países menos desarrollados.



Figura 12: Cobertura del sistema LORAN – C.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos88/cartas-loran/cartas-loran.shtml>

En principio era una tecnología muy cara, que hacía uso de tubos de rayos catódicos para la interfaz con la persona que usaba dicho dispositivo, lo cual limitó su uso a competencias militares. Con el tiempo se fue desarrollando y pasando por varias fases, LORAN-B (1950) y LORAN-C (1958). Esta última tuvo un gran éxito, lo que hizo que poco a poco fuera una tecnología más popular.

En la imagen de la derecha se presenta un receptor LORAN donde se puede apreciar que es un dispositivo complejo y pesado. Justifica el uso militar y la necesidad de formación para su uso.



Figura 13: Receptor del sistema LORAN – C.

Fuente: <https://gpstracklog.com>

Desde el punto de vista técnico, este sistema se basa en la instalación de 2 o más estaciones transmisoras para poder calcular adecuadamente la posición del receptor. Está compuesto de una estación principal (Master, M) y hasta cuatro secundarias (esclavas, también llamadas, X, Y, Z, W, o, X-Ray, Yankee, Zulu, Whiskey). En España se situó la llamada Zulu, parte de la cadena llamada del Mar Mediterráneo. La primera es la que se encarga de sincronizar y disparar la transmisión de las estaciones secundarias y actúa como directora de toda la cadena.

La cantidad de estaciones transmisoras ha variado a lo largo de los años pero para hacernos una idea de las dimensiones del sistema, es suficiente con 28 antenas para cubrir las zonas expuestas previamente (Figura 12). Ajustando adecuadamente los parámetros de LORAN, se pueden llegar a alcanzar longitudes de hasta 2400 km de distancia.

Para determinar la localización de un receptor, al menos son necesarias 2 estaciones. Ambas estaciones emiten un pulso con unas características determinadas, la estación receptora calcula la diferencia de tiempo entre que recibe la primera señal y la segunda. Si a lo largo del trayecto del receptor, esta diferencia permanece constante, implica que dicho receptor está siguiendo una trayectoria hiperbólica cuyos focos son las estaciones emisoras. Este hecho se ejemplifica en la (Figura 14).

La técnica LORAN, hace uso de grupos de pulsos por cada intervalo, la estación principal siempre emite un pulso más que las secundarias. La separación de cada pulso es de unos milisegundos, además se usa una codificación de fase distinta por cada pulso dentro de cada grupo, de modo que permite la identificación de la estación que emite dicha señal y de este modo evitar interferencias. El número de pulsos que se usa es directamente proporcional a la mejora que se obtiene en la relación señal a ruido obtenida en el receptor, siempre y cuando estos pulsos se integren coherentemente en el receptor.

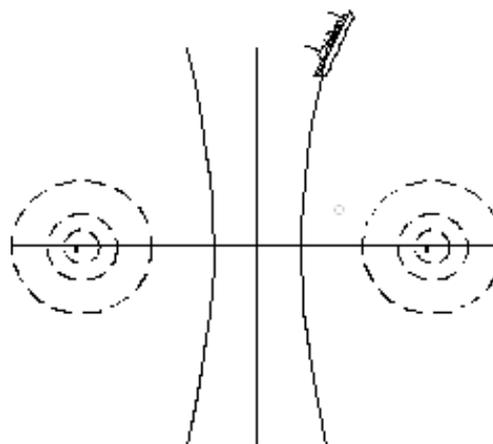


Figura 14: Ejemplo de una trayectoria hiperbólica.

Fuente: <http://agamenon.tsc.uah.es>

En cuanto a las características de cada pulso, se debe decir que es un pulso modulado en amplitud, sobre una portadora de unos pocos cientos de kilohercios. En la (Figura 15), se presenta dicho pulso modulado con una portadora de 100 KHz.[1]

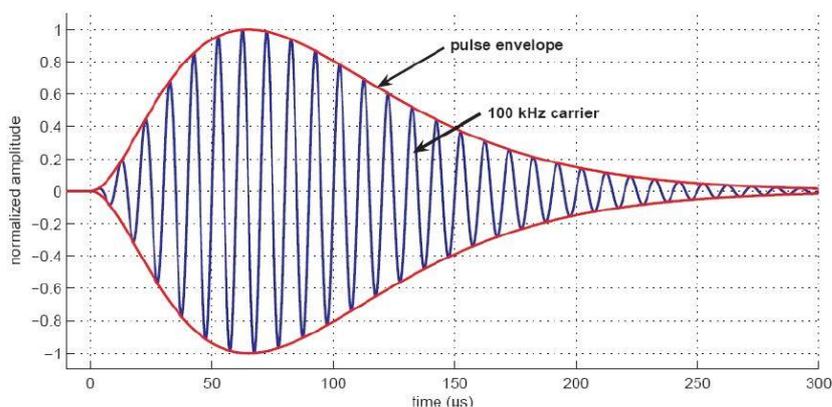


Figura 15: Ejemplo de una trayectoria hiperbólica.

Fuente: <http://agamenon.tsc.uah.es>

$$v(t) = A(t - \tau)^2 \exp\left[\frac{-2(t - \tau)}{t_p}\right] \sin(2\pi f_c t + PC)$$

Ecuación 1: Pulso LORAN – C.

(2.1)

En la ecuación (2.1), se expresa la función usada en la modulación del sistema LORAN – C, la modulación más compleja de todo el sistema. Como valores típicos:

- $t_p = 65 \mu\text{s}$.
- $f_s = 10^5 \text{Hz}$.
- A es una constante de normalización.
- τ es la diferencia entre la fase de la portadora RF y el origen de tiempos de la envolvente
- PC es un parámetro de código de fase en radianes. (0 o π , para positivo o negativo).

En definitiva, lo que un receptor debe hacer para calcular su posición es:

- Distinguir qué señal recibida es la perteneciente a qué estación transmisora. Sobre todo distinguir la estación M, de las demás.
- Demodulación y extracción de la información del pulso recibido. Es decir, seguimiento de la envolvente y de la fase de la portadora.
- Medida de la diferencia de tiempos entre las señales recibidas, entiéndase, de diferentes estaciones.
- Adición de posibles correcciones a las medidas.
- Por último, el cálculo de la posición del receptor.

Entrando un poco en la descripción técnica de los transmisores, cabe decir que comúnmente eran monopolos cargados, aunque también se usaban multitorres. Estas últimas eran más costosas pero también aumentaban la eficiencia del sistema notablemente. En cuanto a las potencias radiadas que se manejaban, en los monopolos estaba en torno a los 300KW, mientras que en las torretas, ascendía a los MW.

Este sistema ha estado funcionando los últimos 50 años, ha sido de gran utilidad y un gran avance en los métodos de guiado y geolocalización en los años 50, su eficiencia y su facilidad de despliegue ha sido determinante para que su uso se extendiera por todo el mundo. Con la llegada de los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), que permiten también conocer la tercera dimensión hasta ahora difícilmente calculable, los sistemas LORAN han sido relegados a una posición de reserva por si en algún momento hicieran falta, ya sea por interrupción de los sistemas más avanzados o por otra causa.

3.2.2 Localización por Satélite.

Antes de entrar de pleno en materias técnicas sobre los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), es conveniente remontarse un poco en la historia de los satélites artificiales.

La motivación principal para la puesta en órbita de estos artefactos, fue en primer lugar la de tener un sistema completamente global para la comunicación. La comunicación de forma casi instantánea, sin necesidad de cables y gestionando pocos recursos, era un concepto que rondaba por la cabeza de los grandes científicos de la época de los años 20, aunque las bases del conocimiento orbital ya existían. Pero el primero en sugerir dicho uso fue **Hermann Oberth**¹ en 1923, una cita suya "If there is a small rocket on top of a big one, and if the big one is jettisoned and the small one is ignited, then their speeds are added.", conceptualmente significa que si ponemos un pequeño cohete en la cofia de uno más grande y mientras nos deshacemos del grande y propulsamos el pequeño, conseguiremos que las velocidades de ambos se sumen. Lo cual es el método básico de la puesta en órbita de cualquier satélite.[2]

En 1945, **Arthur C. Clarke**², su artículo técnico, "Extra – Terrestrial Relays. Can Rocket Station Give World Wide Radio Coverage?"[3], se presentaron a la comunidad científica las bases para poder establecer una órbita de tres satélites artificiales, a una altura sobre la Tierra tal, que permitiera una cobertura global. Esta altura es la de la conocida órbita geoestacionaria, característica por tener un periodo igual al de la tierra, con una altura de 35.786 km, además de una velocidad de 11000 km/h. En la (Figura 16) se muestra una imagen sacada del artículo de Arthur C. Clarke. Presenta el modelo de órbita Geo ideado por el autor.

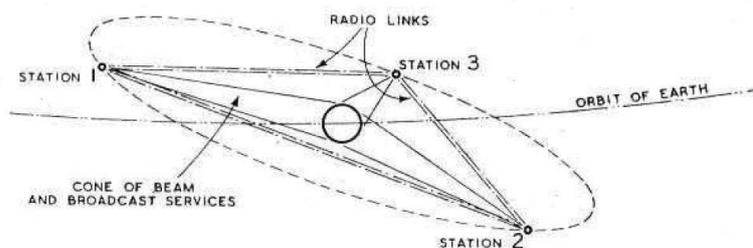


Fig. 3. Three satellite stations would ensure complete coverage of the globe.

Figura 16: Modelo de órbita Geo.

Fuente: A. C. Clarke. Extra-Terrestrial Relays

Después de muchos experimentos y pruebas, de satélites icónicos como el **Sputnik-1**(1957) como primer satélite artificial, seguido por el **Score**(1958), el primero destinado a comunicaciones, el **Syncom-3**(1964) el primero que logró llegar a la órbita GEO, el **Molniya-1** (1965), el satélite ruso con una órbita extremadamente excéntrica y el **Early Bird/ INTELSAT-1** (1965), el primer GEO civil. Sin olvidar al primer ser humano en salir de la atmósfera terrestre, **Yuri Gagarin** (1961). Se ha desarrollado un extenso conocimiento de cómo lanzar un pesado satélite a distintas órbitas, tanto GEO, como LEO (Low Earth Orbit, órbita baja), MEO (Medium Earth Orbit, órbita circular de media altura) o HEO (Highly Elliptical Orbit, órbitas muy excéntricas) y qué incluir como carga útil o *payload* en dichos satélites para que puedan tener cada vez mas vida operando, ya que la reparación de los mismos en dichas orbitas es muy costosa, de hecho solo se contempla en la Estación Espacial Internacional³. [4]

¹ Hermann Julius Oberth, un físico alemán, que junto con el ruso Konstantin Tsiolkovsky y el estadounidense Robert Goddard, sentaron las bases actuales de la astronáutica y los cohetes. Cabe nombrar que estos tres pilares no colaboraron juntos, todos sus trabajos se desarrollaron independientemente.

² Arthur Charles Clarke, un escritor de ciencia ficción muy aclamado por sus trabajos, que además se formó como científico en Londres. Durante la Segunda Guerra Mundial, sirvió en la Royal Air Force, especializándose en radiodeterminación. Uno de los artículos de mayor repercusión que publicó fue el llamado Extra Terrestrial Relays. Can Rocket Station Give World Wide Radio Coverage?

³ Centro de investigación internacional, que precisa una tripulación permanente. Dicha tripulación consiste en la rotación de miembros de cinco agencias espaciales distintas.

3.2.2.1 Principios Básicos.

Para poder poner satélites en órbita, son necesarios infinitud de conocimientos, estos se llevan cultivando desde los antiguos filósofos griegos como Claudio Ptolomeo, con su modelo geocéntrico del universo, hasta científicos como Nicolás Copérnico, que reemplazó con su modelo heliocéntrico al modelo de Ptolomeo y Tycho Brahe por su revisión de los cálculos de las órbitas planetarias más cercanas a la Tierra.

Todos estos científicos fueron anteriores a la invención del telescopio, gracias a este y a los antiguos maestros, **Johannes Kepler**⁴ pudo desarrollar sus leyes, más tarde comprobadas por Newton, y reformuladas con el nombre de Ley de Gravitación Universal.

3.2.2.1.1 Leyes de Kepler:[5]

- Primera. Ley de órbitas: Todos los planetas siguen órbitas elípticas donde uno de los focos es el Sol.
- Segunda. Ley de las áreas: La línea que une el planeta y el Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales.
- Tercera. Ley de los periodos: El cuadrado del periodo de cualquier planeta, es proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita.

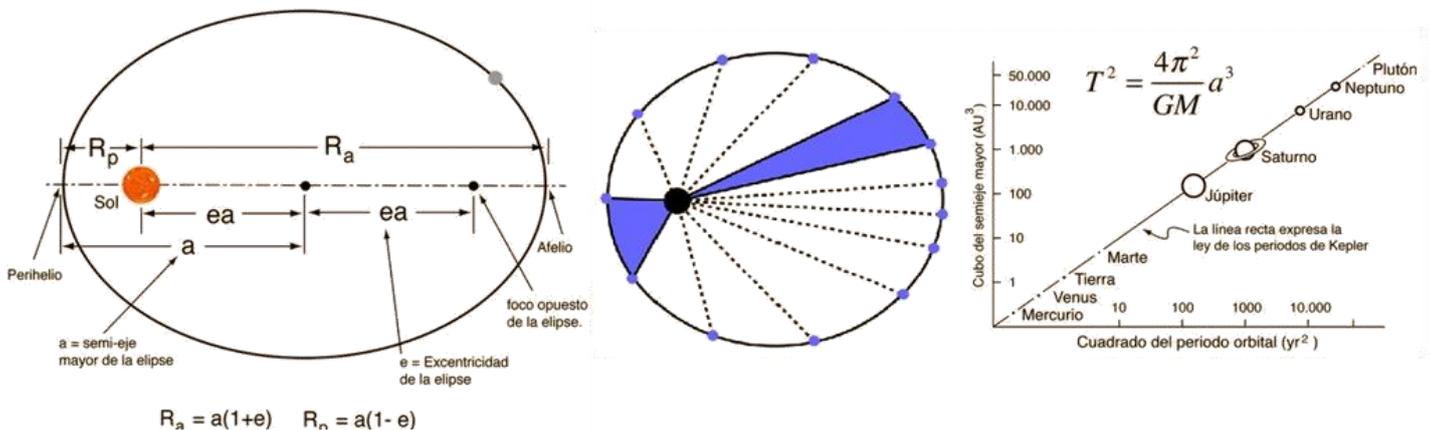


Figura 17: Leyes de Kepler.

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

3.2.2.1.2 La Ecuación de la Vis-Viva:[6]

El nombre de vis viva, significa en latín “violencia” o “fuerza viva”. Esta ecuación, cuyo nombre proviene de la historia de la mecánica, realmente hace referencia a la ley de conservación de la energía, fue una primera descripción de lo actualmente conocido como energía cinética. Desarrollada por Gottfried Leibniz⁵, fue polémica al principio por aparentemente ir en contra de la ley de conservación del momento.

⁴ Los dos primeros teoremas, hasta que Newton los comprobó, fueron recogidos en el libro *Astronomia Nova*, escrito por Kepler y publicado en Praga en 1609. El tercer teorema fue publicado en un libro muchas más detallado, esta vez llamado *Harmonices Mundi* en 1619.

⁵ Gottfried Wilhelm Leibniz, uno de los grandes pensadores del siglo XVII y XVIII. Se le reconoce como el último genio universal por albergar grandes conocimientos de diversas áreas. Es un importante autor tanto en matemáticas como en filosofía.

En esencia, es una aproximación que *a priori* no tiene en cuenta energías no conservativas, es decir sólo involucra en sus razonamientos la energía potencial y la energía cinética. En definitiva, en una órbita habrá una energía constante, compuesta por la suma de la energía cinética y potencial. Estas irán intercambiándose sus magnitudes, permaneciendo el total de la misma inalterado.

Así pues, se definen las energías involucradas como:

- **Energía cinética:** Es la energía que adquiere un cuerpo al estar en movimiento. Se suele definir como el trabajo que se necesita para acelerar dicho cuerpo desde un estado de reposo a una velocidad determinada. Es evidente que la energía cinética es siempre positiva, además términos involucrados son:
 - m , es la masa del cuerpo bajo estudio.
 - v , es la velocidad que lleva ese cuerpo en un determinado instante.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.2)$$

Ecuación 2: Energía Cinética.

- **Energía potencial:** Es la energía que adquiere un cuerpo por estar dentro de un campo de fuerzas, ya sea gravitatorio o cualquier otro, además también existe energía potencial cuando el campo de fuerzas está dentro del cuerpo, como por ejemplo la energía elástica de un muelle.

También se suele definir como el trabajo que se ha de realizar para transportar una masa desde el infinito hasta un punto, por su vector de posición.

$$E_p(r) = - \int_{-\infty}^r F dr \quad (2.3)$$

Ecuación 3: Energía Potencial.

Si ahora suponemos que una masa puntual M genera un campo gravitatorio que influye en una masa notablemente más pequeña m y están separadas por una distancia r , podemos definir la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce la masa más grande sobre la pequeña como:

$$\vec{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r} \quad (2.4)$$

Ecuación 4: Ley de Gravitación Universal.

La constante G es la constante de gravitación universal⁶. A partir de ella y de la masa del cuerpo que provoca el campo gravitacional, se puede definir el parámetro gravitacional estándar μ como:

$$\mu = GM \quad (2.5)$$

Ecuación 5: Parámetro Gravitacional Estándar.

⁶ Fue medida por primera vez en el experimento de Cavendish o de balanza de torsión. Gracias a esta medida, a la Ley de Gravitación Universal y a otras características orbitales, se pudieron deducir la masa de los planetas y el Sol.

2018

Aplicando, ahora, la definición de energía potencial a la fuerza gravitatoria, se llega a la conclusión de que la energía potencial solo depende del parámetro μ , de la masa del objeto atraído y de la distancia entre ambos.

$$E_p(r) = - \int_{-\infty}^r -G \frac{Mm}{r^2} dr = -G \frac{Mm}{r} = -\frac{\mu m}{r} \quad (2.6)$$

Como ya es sabido, la energía será constante en cualquier punto de la órbita, por lo tanto eligiendo perspicazmente un punto que facilite los cálculos, se puede llegar a conocer cuál es dicho valor.

$$E = E_c + E_p \quad (2.7)$$

Si elegimos el perigeo (punto de la órbita elíptica más cercano al foco) podremos facilitar enormemente los cálculos, ya que en este punto el ángulo entre los vectores \hat{r} y \hat{v} es de 90° . También es necesario calcular la velocidad en el perigeo para poder conocer la energía cinética, esta es función del momento angular.

Como conclusión, se ha demostrado que la energía del sistema siempre será negativa.

$$E = -\frac{\mu m}{2a} \quad (2.8)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (2.2), (2.6), (2.7), (2.8) y trabajando con ellas un poco, se llega a la **ecuación de la vis-viva**

$$\frac{v^2}{2} - \frac{\mu}{r} = -\frac{\mu}{2a} \quad (2.9)$$

Ecuación 6: Ecuación Vis-Viva.

Todas estas definiciones, son necesarias para encontrar las fórmulas adecuadas para ciertas aplicaciones muy útiles si queremos poner en órbita un cuerpo, ya sea un satélite perteneciente a un sistema GNSS o a uno que se dedique a la exploración del espacio profundo. Por lo tanto:

- **Velocidad de escape:** Es la velocidad necesaria que debe tener un cuerpo para escapar de la atracción gravitatoria generada por el cuerpo de mayor tamaño. Esta condición se consigue forzando el valor límite, cero, a la energía conservada en la órbita. Con esta condición obtenemos esta ecuación.

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{\mu m}{r} \quad (2.10)$$

Despejando ahora la velocidad, llegamos a la fórmula deseada.

$$v = \sqrt{\frac{2\mu}{r}} \quad (2.11)$$

Ecuación 7: Velocidad de Escape.

- **Radio de Schwarzschild:** Como definición formal, “Es el radio de una esfera tal que, si toda la masa de un objeto estuviera concentrada dentro de esta, la velocidad de escape de la superficie de la esfera sería igual a la velocidad de la luz”.

Este concepto se usa para definir el horizonte de sucesos de un agujero negro, a partir del cual, se nos hace imposible extraer información. La velocidad que puede adquirir un cuerpo está limitada por la velocidad de la luz, nada puede superar dicha velocidad.

- **Paradoja del Satélite:** Es un efecto aparentemente engañoso que podemos observar en un satélite cuando tenemos en cuenta la fuerza de rozamiento de la atmósfera terrestre. Conforme nos vamos acercando a la superficie de la Tierra, la densidad de la atmósfera se incrementa. Debido a esto en determinadas órbitas la fuerza de rozamiento se hace especialmente importante.

La paradoja se observa cuando tenemos en cuenta posibles fuerzas que aumenten o disminuyan la energía de la órbita. Cuando la energía aumenta la velocidad del cuerpo disminuye y cuando la energía disminuye la velocidad aumenta. Volviendo al caso de la fuerza de rozamiento, esta hace que el satélite caiga hacia el centro del planeta tractor aumentando su velocidad, la interpretación que se propone en este caso es que dicha fuerza de rozamiento produce un efecto de empuje en el satélite.

3.2.2.1.3 Trilateración.

Es un método matemático similar a la triangulación, con la diferencia de que en este último se usan las medidas de ángulos y distancias conocidas, mientras que en la trilateración se usan posiciones de referencia conocidas y las distancias al punto a localizar.

En el caso de la (Figura 18), nosotros debemos conocer los puntos **P1**, **P2** y **P3**, que son los puntos de referencia, después tenemos que medir las distancias r_1 , r_2 y r_3 . Conociendo solo r_1 , podemos afirmar que el punto buscado está contenido en la circunferencia con centro **P1**, si además conocemos r_2 , reducimos la incertidumbre a solo dos puntos **A** y **B**. Con la adición de la última circunferencia de centro en **P3**, logramos eliminar la duda.

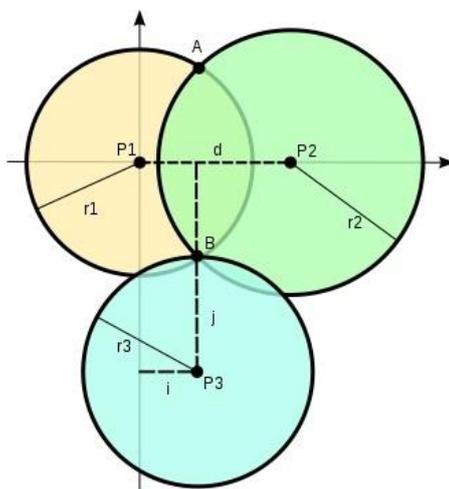


Figura 18: Trilateración 2D.

Fuente: Wikipedia.

Si en lugar de un plano, tenemos que encontrar la posición de un punto en un espacio tridimensional, como es el caso de la localización por satélite, lo que debemos imaginar son esferas en vez de circunferencias.

La intersección de dos esferas genera una circunferencia, si añadimos una tercera que interseque con la circunferencia, obtendremos dos puntos. Normalmente uno de estos puntos es ilógico, ya que si estamos localizando un punto en la superficie de la Tierra, la incertidumbre se podrá despejar comprobando cuál de estos puntos es el más próximo a la superficie o si uno de los puntos cae en el hemisferio equivocado.

Si añadimos otra esfera al sistema, podremos despejar también la incertidumbre, aunque realmente no se usa para este fin, se usa para calcular la incógnita tiempo, concepto que se abordará posteriormente.

Esto quiere decir que para que funcione correctamente un sistema GNSS, necesitamos que haya siempre al menos 4 satélites próximos al punto que debemos localizar. Como no sabemos en qué momento se hará uso del sistema, es necesario diseñar una constelación de satélites que cubra la Tierra de esta forma.

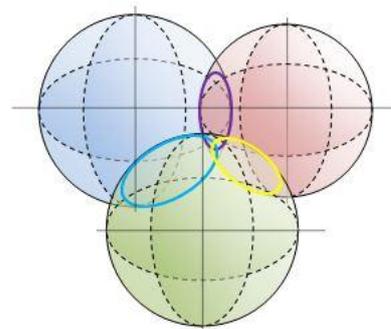


Figura 19: Trilateración 3D. Elaboración Propia.

3.2.2.2 Estudio del Sistema.

3.2.2.2.1 Constelación.

Debemos tener en cuenta que la trigonometría que debemos aplicar en estos casos es la esférica, esto complica ligeramente los cálculos, ya que no se cumplen todos los teoremas que tenemos en la trigonometría plana y algunas leyes se han de modificar.

Ecuación 8: Ley del Seno.

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } a} = \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } b} = \frac{\text{sen } \gamma}{\text{sen } c} \quad (2.12)$$

Ecuación 9: Ley del coseno I.

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \text{sen } b \cdot \text{sen } c \cdot \cos \alpha \quad (2.13)$$

Ecuación 10: Ley del coseno II.

$$\cos \alpha = -\cos \beta \cdot \cos \gamma + \text{sen } \beta \cdot \text{sen } \gamma \cdot \cos a \quad (2.14)$$

Ecuación 11: Área Triángulo Esférico.

$$A = \rho^2 \cdot (\alpha + \beta + \gamma - \pi) \quad (2.15)$$

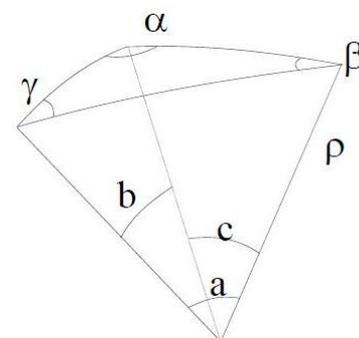


Figura 20: Triángulo Esférico.

Fuente: S. Cogollos Borrás y A. Vidal Pantaleoni, «Conceptos Básicos»

Con todas estas fórmulas y haciendo algunas operaciones, se pueden deducir las ecuaciones que permiten calcular el número de órbitas, el número de satélites, ángulo entre órbitas, que debe haber en una constelación para que podamos disponer de cobertura global sin dejar zonas descubiertas.

Lo primero que se ha de decidir es la altura de la órbita, este parámetro tiene asociado un determinado ángulo de elevación que se denomina ϵ_{min} , este valor es un parámetro de diseño.

A partir de este dato, lo que se ha de averiguar es el valor de ψ .

Aplicando trigonometría, se llega a la siguiente solución.

$$\Psi = \frac{\pi}{2} - \epsilon_{min} \cdot \arcsin\left(\frac{\rho}{\rho + h} \cdot \cos \epsilon_{min}\right) \quad (2.16)$$

Ecuación 12: Ángulo Ψ .

Este dato es necesario para el cálculo de otros ángulos. Esto se pone de manifiesto en las siguientes figuras, pero es conveniente explicar previamente ciertos conceptos.

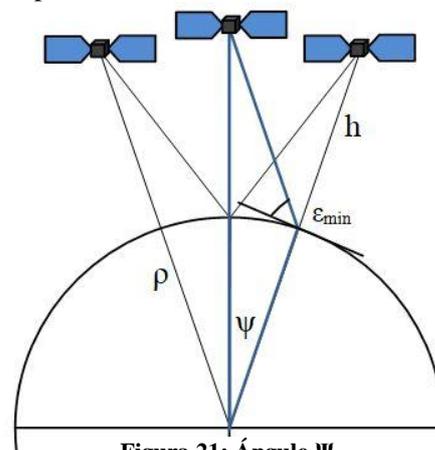


Figura 21: Ángulo Ψ . Elaboración Propia.

El haz de las antenas que equipan los satélites es de tipo pincel, lo cual se traduce en una huella circular en la tierra (esto es así, si suponemos que la tierra es completamente redonda, se aplican estas aproximaciones porque no introducen un error muy grande), por lo tanto para no dejar zonas sin cobertura, lo ideal es solapar los haces.

El resultado de estos solapamientos es el de la generación de una malla con forma de panal de abeja. Por lo tanto el elemento básico sobre el que trabajar es el hexágono, que a su vez dividimos en 6 triángulos esféricos. Haciendo uso de la Ecuación 10, (2.14) y eligiendo convenientemente los ángulos en la (Figura 20), obtenemos la fórmula que determina cuál es el valor que debe tener α .

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\sqrt{3}}{\cos \Psi}\right) \quad (2.17)$$

Ecuación 13: Ángulo α .

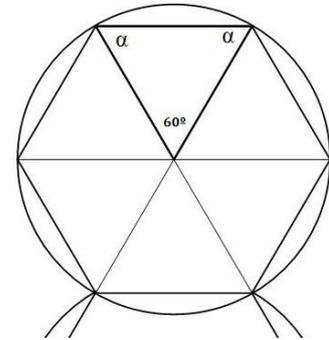


Figura 22: Huella del satélite. Elaboración Propia.

La forma de calcular el número de satélites que necesitamos para cubrir completamente la Tierra, sin que haya zonas de sombra, es la de comprobar cuántos hexágonos de los diseñados, caben en la superficie de la tierra, aproximándola a una esfera perfecta. Por lo tanto, es una simple división, el dividendo es la superficie de la Tierra y el divisor es el área del triángulo diseñado. Operando para llegar a la solución más simple, se obtiene una fórmula únicamente dependiente del ángulo α .

$$N^{\circ} \text{ Satélites} = \frac{\text{Superficie Tierra}}{\text{Área Triangulo}} = \frac{\pi}{3\alpha - \pi} \quad (2.18)$$

Ecuación 14: Número de Satélites.

Hay que tener en cuenta que estas fórmulas sirven como aproximación a los resultados que realmente se tendrán. El número de satélites obtenido mediante la Ecuación 14 (2.18), sirve como cota inferior.

En la figura siguiente, se intentan representar dos órbitas y la separación angular entre ellas. Por lo tanto, teniendo en cuenta que Ψ es el ángulo previamente calculado, se pueden deducir cuales serán los ángulos medidos respecto del centro de la Tierra. También se presenta Γ que simboliza el ángulo a partir del cual hay solape con la órbita contigua. Una vez conocida la separación angular entre las órbitas, solo resta ver cuántas caben en la mitad de la esfera.

$$\Omega = \frac{\pi}{\Gamma + \Psi} = \frac{2\pi}{3\Psi} \quad (2.19)$$

Ecuación 15: Separación angular.

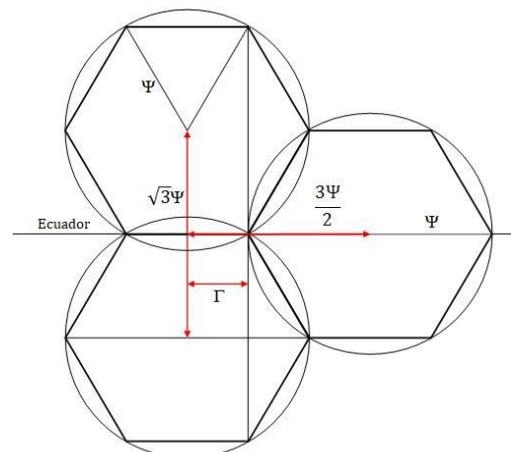


Figura 23: Separación angular. Elaboración Propia.

El número de satélites por órbita, por otro lado, se obtiene.

$$s = \frac{2\pi}{\sqrt{3}\Psi} \quad (2.20)$$

Ecuación 16: Satélites por órbita.

Por último, multiplicando las dos ecuaciones anteriores, obtenemos otra aproximación para el número de satélites que debemos poner en órbita.

$$N^{\circ} \text{ Satélites} = \Omega \cdot s = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{2\pi}{\Psi}\right)^2 \quad (2.21)$$

Ecuación 17: Número de Satélites.

Todas las constelaciones existentes en la actualidad (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS), mantienen sus satélites en una órbita MEO, en torno a unos 20.000 km sobre la Tierra. Casi todas tienen 27 satélites nominales, encargados de que el sistema funcione, además también tienen algunos más de reserva por si en algún momento fallara alguno.

	GPS	GALILEO	GLONASS	COMPASS
Número de Satélites nominales (MEO)	27	27	24	27
Satélites Operativos	31	2	24	2
Satélites en reserva nominales	3	3	4	3
Altura de la órbita (km)	20.182	23.222	19.140	21.500 - 24.100
Periodo de la órbita (min)	718	845	676	-
Planos orbitales	6	3	3	3
Satélites por plano orbital	4	9	8	9
Inclinación del plano orbital	55°	56°	65°	55°

Tabla 1: Comparativa GNSS. Elaboración Propia.

3.2.2.2.2 Estructura.[7]

Los satélites por sí solos, no pueden gestionar toda información y control que se debe tener para que el sistema funcione. Los satélites están sujetos a variaciones orbitales debidas a distintas aproximaciones que se toman para aligerar complejidad computacional. La más evidente, es suponer que la Tierra es completamente esférica, cuando en realidad está achatada por los polos además de tener accidentes geográficos que distan mucho del nivel del mar. Por lo tanto, el sistema se divide en el segmento de control, el segmento espacial y el segmento de usuario.

Segmento Espacial.

Desde que se empezó el proyecto de GPS, se han desarrollado y puesto en órbita hasta 4 generaciones de satélites, estas han sido llamadas Bloque I, Bloque II, Bloque IIA, Bloque IIR y Bloque IIF, cada una de ellas ha ido mejorando las prestaciones y añadiendo nuevas funcionalidades a los satélites. Esto es debido a que un satélite tiene una vida útil de entre 7 y 15 años, degradándose por diferentes motivos, ya sea el agotamiento de los paneles solares, de las baterías o el combustible que devuelve al satélite a su órbita dictada.

Además también hay efectos de degradación por otras causas, como la fricción con la atmosfera a órbitas bajas que desemboca en la corrosión de los aparatos, el outgassing que se refiere al desprendimiento de moléculas cuando un material está en el vacío, las cuales acaban depositándose en otras partes del satélite.

La constelación de GPS está formada normalmente por 24 satélites además de algunos redundantes por si se necesita suplir algún fallo. Estos se disponen en 6 órbitas con una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador, con 4 satélites por cada una. La altura a la que se encuentra exactamente es a la de 20.180 km, con un período de rotación de unas 12 horas, lo que se traduce en un tiempo máximo observable de 4 horas y 15 minutos.

Todos estos satélites necesitan ser distinguidos inequívocamente por lo tanto disponen de códigos individuales (PRN). Estos códigos son enviados periódicamente junto con más información.

Para gestionar todos estos satélites además de la comunicación entre ellos y la Tierra, es necesaria la intervención humana.

Segmento de control.

Es denominado internacionalmente OCS (Operational Control Segment), está compuesto por 10 estaciones repartidas por todo el globo. Estas estaciones se pueden subdividir en, una Estación de Control Maestra (MCS), en varias Estaciones de Monitoreo (MS) y en varias Antenas Terrestres (GA).

Las estaciones de monitoreo tienen coordenadas muy precisas conocidas por el sistema, además cuentan con receptores de GPS a doble frecuencia, L_1/L_2 y un reloj atómico de cesio. La función de estas es la de monitorizar y calcular en todo momento la distancia a todos los satélites visibles. Es la encargada de medir las condiciones atmosféricas del entorno, que servirá para readaptar las señales en tiempo real y de este modo ofrecer las máximas prestaciones. Sirve como baliza para saber en todo momento donde está cada elemento del sistema. Toda esta información la transmiten a la estación maestra.

Con todos estos datos, la estación maestra la cual está situada en la Base de la Fuerza Aérea Schriever en Colorado. Prepara toda la información para ser transmitida por las antenas a los satélites ya en órbita. También sirve como sincronía para que todos los satélites tengan la misma hora.

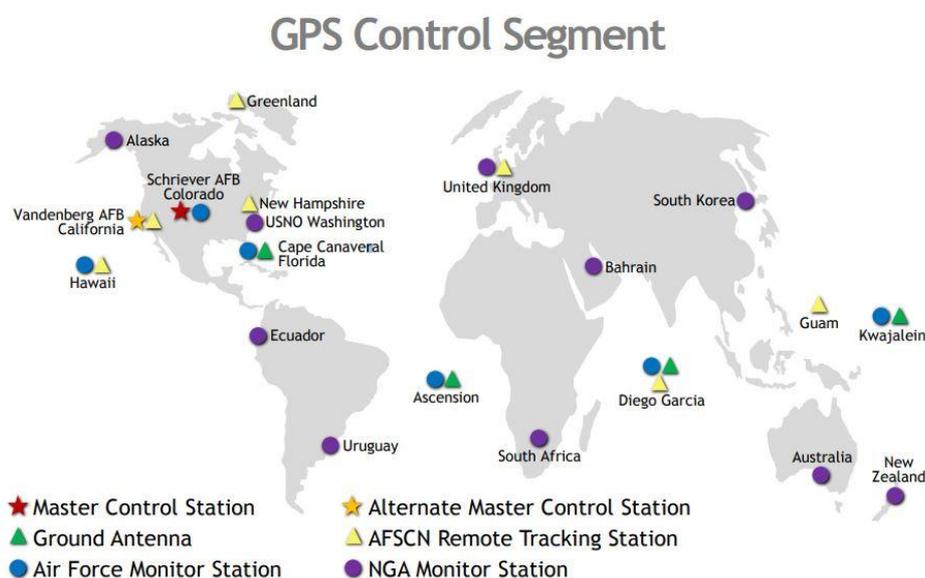


Figura 24: Segmento de Control.

Fuente: <https://www.gps.gov>

Segmento de usuario.

Por último, el usuario final, ya sea civil o militar, recibirá la señal de los satélites en su dispositivo GPS.

Normalmente el GPS consta de varios componentes básicos como la antena transmisora y receptora además de la circuitería encargada de procesar la información recibida.

Suelen ofrecer información como el número de satélites localizados, la intensidad de la señal que llega al dispositivo, la posición del GPS, latitud, longitud y altitud, etc.

3.2.2.2.3 Tiempo.

La medida del tiempo es crucial para que el sistema funcione con precisión ya que es usado para mantener una sincronía con todos los satélites la cual es necesaria para poder calcular las distancias entre satélite y receptor.

El origen de la escala de tiempo GPS se sincronizó con el UTC (Tiempo Universal Coordinado), el día 6 de enero de 1980, a las 0 horas.

La medida del UTC es el segundo atómico. Debido a las irregularidades en la órbita de la Tierra, el reloj UTC y el GPS derivan, aunque la diferencia es notable cuando pasan muchos años, como consecuencia, en 2005 la deriva que sufrieron estos relojes fue de 13 segundos. A priori, esto parece insignificante, pero se puede traducir en un error de cientos de metros si no lo corregimos en GPS.

La unidad de tiempo que usa GPS es el número de semana GPS (NSGPS) que equivale a 604.800 segundos. Esta cuenta empezó el día de la sincronización con UTC pero tras llegar a 1023 NSGPS, en 1999 a la misma hora, en agosto, la cuenta volvió a 0. Además de estos sistemas de referencia, también contamos con el Tiempo Sideral, medido en días julianos con referencia astronómica, TAI (International Atomic Time) basado en un conjunto de 200 relojes atómicos de más de 60 laboratorios ubicados por todo el mundo y el UT (Universal Time) correcciones basadas en la rotación terrestre.

En el segmento de control, la estación Maestra dispone de un reloj atómico⁷ de Cesio, aparte, cada estación de monitoreo tiene otro que sirve de sincronía. Por otro lado, los satélites tienen cuatro relojes en su payload o carga útil, dos de ellos son de Cesio y los otros dos son de Rubidio. La sincronía entre el segmento de control y el espacial se hace periódicamente con descargas de información.

Estos relojes son muy caros de fabricar y difíciles de usar, a cambio, los relojes usados en los receptores son de cuarzo, muy baratos, pero inevitablemente menos precisos.

La estabilidad se caracteriza por la desviación que sufre la frecuencia a lo largo de un periodo de tiempo respecto a la frecuencia propia del reloj. Además, se puede demostrar que hay una relación equivalente en tiempo, es decir, al tiempo le sucede lo mismo. Por lo tanto, en función del tipo de elemento que se use, con una frecuencia de resonancia normal dada, se puede caracterizar la estabilidad del reloj a usar.

Como ejemplo representativo[8], el rubidio tiene una estabilidad de 10^{-12} , esto se traduce a que por cada segundo de tiempo que pasa, el reloj se desvía de su medida exacta en 10^{-12} segundos. Dicho de otra forma, deberían pasar en torno a 31.688 años para que el reloj se desviara un segundo. Otro ejemplo sería el Cesio con 10^{-14} . Este error, no es notable para la precisión que buscamos.

⁷ Un reloj atómico es un dispositivo que intenta alimentar su contador utilizando las frecuencias de resonancia atómica normal. Actualmente el elemento que se usa para medir su frecuencia de resonancia es el cesio. Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, un segundo se corresponde con 9 192 631 770 ciclos de la radiación asociada a la transición hiperfina desde el estado de reposo del isótopo de cesio 133. [14]

Existen varios métodos para determinar la distancia en función del tiempo, podemos hacer uso de dos señales a diferentes velocidades, calculando el retardo entre ellas y conociendo la velocidad de la más lenta, la aplicación más conocida es la del cálculo de la distancia a un rayo haciendo uso de la luz y el sonido que produce dicho evento.

El método usado por GPS es similar a este, hace uso de una señal guardada previamente y la misma enviada por otro transmisor, calculando el retardo entre ambas, determina la distancia. Este caso se ampliará en la siguiente sección.

A todos estos efectos, hay que añadir el efecto de la relatividad. El tiempo no es una magnitud absoluta, depende de la velocidad que lleve el propio reloj de referencia, respecto al observador. Esto provoca que haya un desfase entre los relojes de los satélites y los de la superficie terrestre por el simple hecho de que vayan a diferentes velocidades. Esto puede ejemplificarse con un experimento que se hizo en 1971, se pusieron dos relojes atómicos en dos aviones que volaban en sentidos opuestos, uno hacia el Este y otro hacia el Oeste, lo que se observó fue que la diferencia de tiempo observada en cada uno de los relojes variaba debido a que el avión que viaja en contra de la rotación de la Tierra, mantiene una velocidad superior respecto al reloj terrestre que el que mantiene el reloj que va a favor de la rotación terrestre, aun yendo ambos a la misma velocidad uno, respecto del otro.

3.2.2.2.4 Señales y Códigos.

Como hemos visto en la sección anterior, para poder distinguir entre los distintos satélites en órbita, se desarrolló un sistema que toma conceptos de un tipo de modulación llamado CDMA. Este sistema se basa en la generación de códigos pseudo-aleatorios que se usan para modular una señal con la información que queremos enviar, esta técnica se denomina espectro ensanchado o *spread spectrum*, porque, precisamente es lo que hace cuando transformamos la señal del tiempo a frecuencia.

También, existen otras formas de identificar un satélite, se puede identificar mediante el orden de lanzamiento, la posición que ocupa dentro de la órbita, etc. Pero la más eficaz es la de PRN (Pseudo Random Noise)

Existe una portadora o frecuencia maestra a partir de la cual se calculan las otras dos. Esta frecuencia pertenece a la banda L (que va de los 1000 a los 3000MHz) y tiene un valor de 10.23MHz. Las otras dos, L_1 y L_2 se calculan multiplicando la frecuencia maestra por 154 y 120 respectivamente. Es decir:

- $L_1 = 1575,42MHz$
- $L_2 = 1227,6MHz$

Estas son las frecuencias de las portadoras que se usan para construir las señales que llevan su mismo nombre, es decir, las señales L_1 y L_2 . Para la construcción de estas señales, son necesarios varios códigos, el código C/A, el código P y los datos de navegación

El código C/A, también llamando, Código de Adquisición común, es el que se usa para calcular las distancias a los satélites. Cada satélite tiene uno propio, esto se consigue, generando valores de forma pseudo-aleatoria, estos valores son binarios, es decir, este código solo tiene dos posibles valores. La forma de conseguir que estos códigos sean únicos para el sistema y no generen errores es conseguir que sean ortogonales entre sí. Una vez se saben estos códigos, se pueden construir los códigos PRN, que no es otra cosa que la modulación de distintas señales con este código C/A.

El código P, fue impuesto a nivel militar, este código genera un algoritmo que se repite cada 267 días, por lo tanto durante este tiempo el código parece aleatorio, aunque no lo sea, ya que repetirá sus valores cada periodo. Este código tiene una frecuencia de 10,23 MHz.

Fue impuesto junto con el SA (Selective Availability), este sistema permite introducir un error de una magnitud considerable en el receptor, esto puede significar una desviación de la posición de cientos de metros, cuando el ejército americano lo considere necesario.

La medición se consigue sabiendo el desfase entre la señal que recibimos respecto de la que fue enviada. Almacenando cada uno de los PNR correspondientes a cada satélite en cada receptor. Por lo tanto el retardo temporal de la señal se puede transformar en una distancia si sabemos la velocidad de la señal. La velocidad depende de la frecuencia y del medio en el que viaja. La frecuencia es un parámetro conocido, por lo tanto no hay que calcularlo, aunque puede modificarse ligeramente por efecto Doppler o por alteraciones sufridas durante el viaje por la atmósfera, por lo tanto se debe conocer muy bien el estado de la misma para saber qué alteraciones puede sufrir la señal, para ello todas las Estaciones de Control, tienen sensores que permiten medir la humedad, temperatura..., además, también tienen radares que ayudan a discernir qué volumen, tamaño y en qué magnitud afectará una nube a una transmisión de datos. La medida de este retardo, se consigue calculando la correlación de las señales enviada y local, viendo la separación entre sus máximos, podemos discernir la separación temporal entre ellas.

Si hacemos la suposición de que la velocidad a la que viaja la señal es la velocidad de la luz en el vacío, podemos establecer algunas relaciones que ayudarán a entender los parámetros usados. Por ejemplo, el desfase de un milisegundo respecto de la señal local, se traduce en aproximadamente 300.000 metros. A esto, hay que añadir un cierto error derivado de la sincronía de los relojes, como no puede ser completamente perfecta, introducirá un pequeño error que puede ser fatal si no se compensa. La solución buscada para esto, es que entre en juego otro satélite, es decir, que haya 4 satélites visibles, tres para el posicionamiento y el cuarto para despejar la incógnita temporal.

Así pues, la forma de construir las señales L_1 y L_2 , es la siguiente:

$$L_1(t) = a_p P_j(t) D_j(t) \cos(f_1 t) + a_c P_j(t) D_j(t) \text{sen}(f_1 t) \quad (2.22)$$

$$L_2(t) = b_p P_j(t) D_j(t) \cos(f_2 t)$$

Ecuación 18: Expresiones de $L_1(t)$ y $L_2(t)$.

Los coeficientes a_p , a_c y b_p son las amplitudes de los códigos C/A y P. Además, $P(t)$ y $G(t)$ hacen referencia a los códigos P y C/A y $D(t)$ simboliza la secuencia de datos a enviar.

Otra forma de observarlo, quizá más clara, es la representada en este diagrama.

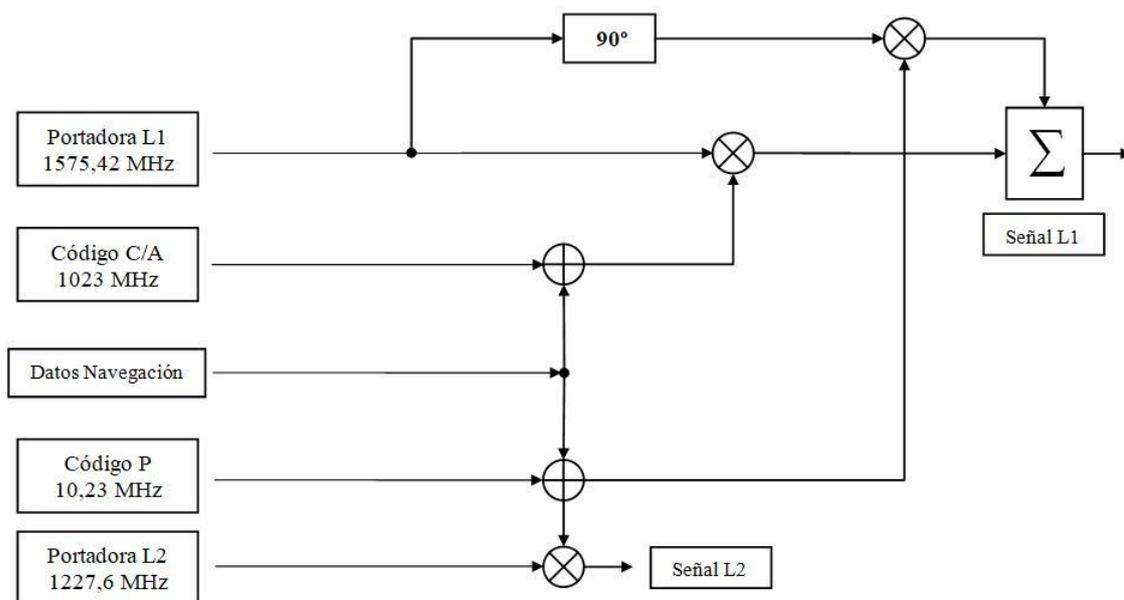


Figura 25: Señales L_1 y L_2 . Elaboración Propia.

La información que contiene la secuencia, Datos de Navegación, tiene una estructura anidada, es decir está formada por hasta 7 niveles. La forma más sencilla de representar esto es mediante la (Figura 26: Estructura de la trama. (Datos de Navegación)).

En esta figura, se ve claramente que la trama principal se divide en cinco subtramas, cada una de ellas se usa para transmitir un tipo de información distinta[9].

- **Subtrama 1:** Contiene información relativa al reloj del satélite y datos referentes a la vida del satélite, es decir cuánto tiempo lleva en órbita, resto de vida, retardos, etc.
- **Subtrama 2 y 3:** Son las encargadas de transportar los datos de la efemérides.
- **Subtrama 4 y 5:** En estas tramas se codifica la información del almanaque, un resumen de la vida del satélite, el parámetro temporal UTC y otros datos relevantes.

Además las dos primeras palabras de cada subtrama, remiten información de telemetría y handover, información muy importante para el funcionamiento del sistema.

Se ha hablado de términos como almanaque, efemérides y datum, se define a continuación estos términos.

Efemérides transmitidas: Son datos que el usuario recibe en el momento de la observación, estos permiten extrapolar la ubicación del satélite dos horas antes y después de recibir la información. Esto es calculado en la estación de control maestra, la cual envía la información a los satélites y estos al usuario.

Efemérides precisas: Estas son calculadas, *a posteriori*, por interpolación. Se obtienen gracias a las observaciones de las estaciones de control. Son mucho más precisas que las anteriores, pueden ser encontradas en internet.

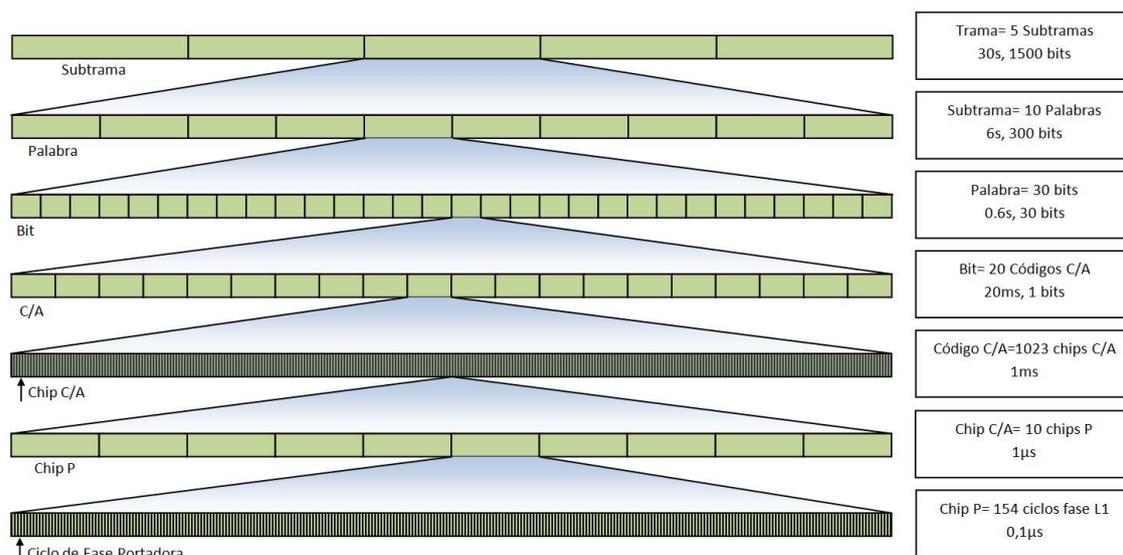


Figura 26: Estructura de la trama. (Datos de Navegación). Elaboración Propia.

Almanaque: es una versión reducida del almanaque, permite hacer aproximaciones de las coordenadas de un satélite. Normalmente son válidas hasta seis meses, pero es recomendable que se actualicen cada semana.

Datum: Algunos receptores ofrecen este dato, indica que sistema de referencia se está usando y expresa sus parámetros. Estos pueden ser, que las coordenadas estén centradas en el centro de la Tierra, por lo tanto el origen de coordenadas es la Tierra y por otro lado, que el usuario sea el punto a partir del cual se definan las distancias a los satélites. Además, también hace referencia al elipsoide de ajuste que se está usando, GPS usa el denominado WGS-84.

Por último, para hablar de las potencias usadas en estas transmisiones, la potencia entregada por el satélite es de unos 27W, la ganancia de las antenas parabólicas del satélite son de 10 a 16dB, por lo tanto, todo esto se traduce en una potencia efectiva transmitida de unos 450W. Esta señal ha de viajar unos 20.000 km por lo tanto se va a degradar muchísimo, hasta el punto de que a la Tierra llegan escasos vatios, unos 10^{-16} W, en torno a los -130dBm. Debido a esto, en ciudades con edificios muy altos, o en bosques con árboles muy grandes y poblados o también dentro de los edificios, no podremos obtener una calidad buena en el servicio.

3.2.2.2.5 Receptor.

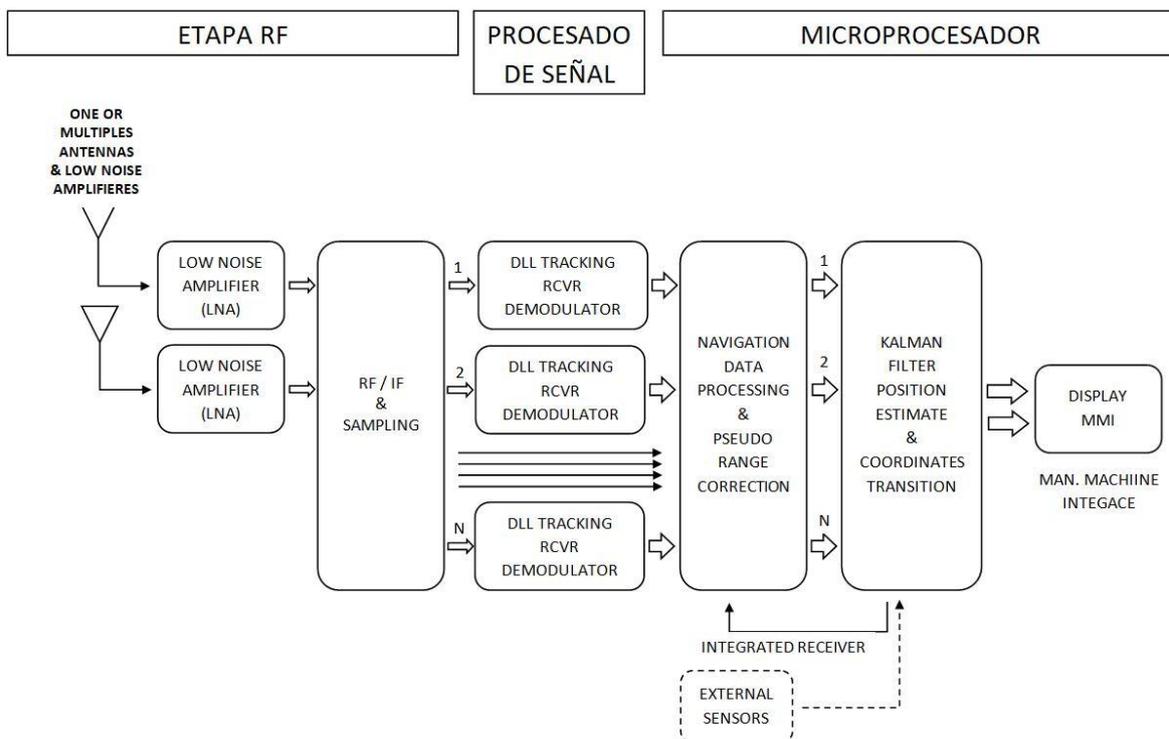


Figura 27: Diagrama de un Receptor Genérico. Elaboración Propia.

En la (Figura 27) se presenta el diagrama de un receptor GPS genérico. Este elemento del sistema, ha ido evolucionando a lo largo de su historia, partiendo de receptores analógicos pensados y muy costosos hasta los modernos chips miniaturizados que caben en los teléfonos móviles cuyo coste es muy reducido. Evidentemente, podemos encontrar gamas de receptores que ofrezcan mejores respuestas y más opciones a un coste más elevado.

Casi todos los receptores utilizan 4 canales como mínimo, aunque los de calidad superior pueden llegar a 12 e incluso 24 y 36. En la actualidad, se utilizan receptores de multifrecuencia, utilizan las señales L_1 y L_2 y multiconstelación.

Las antenas que han de usar los receptores, deben ser lo más omnidireccionales posible, esto permitirá que se detecten y usen una mayor cantidad de satélites. La ganancia de estas antenas es de unos 3dB y además tiene un diagrama de radiación que intenta cubrir todo la semiesfera que apunta hacia los satélites.

Para la recepción de la señal se usa un filtro denominado, Filtro Kalman, que hace casi todo el procesado. Estima la posición, el reloj y la velocidad, esto lo consigue mediante un modelo dinámico es decir, estima la posición con una precisión creciente. Va tomando medidas hasta que la precisión lograda es tal que permite solucionar las ambigüedades que se habían generado. Este tiempo se denomina tiempo de refinamiento o convergencia.

Pero el receptor puede trabajar en varios modos, que usan distintos métodos para el cálculo de estos parámetros.

Cold Start.

En este caso, el receptor no posee el almanaque, es decir no conoce ni la posición de los satélites ni la ubicación actual de sí mismo. Por lo tanto, lo primero que debe hacer es buscar satélites para descargar esa información. Esto requiere un mayor consumo de potencia y tiempo.

Warm Start.

Este método se puede utilizar si ya se ha realizado el “*cold start*” previamente, ya que requiere que haya información previa de la posición del receptor y de los satélites.

Se miden los pseudo-rangos y se corrigen las posiciones. Las posiciones se calculan con el filtro Kalman. De nuevo, se guardan los datos de efeméride, almanaque, posición y reloj en la memoria del receptor.

3.2.2.2.6 Errores y Precisión.

Todo sistema que implique precisión lleva asociados una serie de errores que muchas veces son difíciles de solucionar y que acaban degradando la precisión buscada. El GPS no es una excepción. Previamente se han citado algunos, aunque en esta sección se pretende reunir a la mayoría.

Tipos de errores:

- *De reloj:*

La precisión de los relojes tiene que ser del orden de nanosegundos, ya que una diferencia mayor puede degradar mucho la señal. Las señales que transmite el satélite van a la velocidad de la luz o muy próxima, a esa velocidad, en un nanosegundo recorre 30 centímetros, por lo tanto un desfase mayor puede ser demasiado.

Los errores se dan en los relojes de los satélites, ya que estos están sometidos a la influencia de la relatividad. Este efecto consiste en que el tiempo y el espacio son un continuo y que la velocidad modula esta dualidad, de este modo, al haber una diferencia en la velocidad entre los relojes de los satélites y los relojes de la superficie de la Tierra, hace que aunque sea algo poco significativo afecte en gran medida por lo descrito anteriormente.

Otro error de reloj, es el intencionado. EEUU tiene la capacidad de influir en la precisión de los satélites y por tanto en la información que le llega al receptor. Esto es conocido como SA (Selective Availability).

- *En las efemérides:*

Estos datos son los que sirven para calcular la posición de un satélite en un momento determinado, si estos datos son erróneos, ya sea de forma intencionada o no, provocarán un error en la información que recibe el receptor. En estos datos es donde influye el SA.

- *Atmosféricos[10]:*

Podemos dividir la atmósfera de la Tierra en seis capas, muy diferenciadas por la composición y densidad de los gases que las componen.

Desde la superficie de la Tierra hacia fuera, se nombran: Troposfera, Estratosfera, Capa de Ozono, Mesosfera, Termosfera o Ionosfera y la Exosfera.

Las que más afectan son la Troposfera y la Ionosfera. La Troposfera afecta tanto porque es la más densa y la que más puede influir por su composición, por lo tanto es la que mas varianza tiene en cuanto a presión, temperatura, humedad... La forma de corregirla es mediante modelos más o menos exactos que ayudan a ajustar la influencia de estos cambios en la frecuencia y velocidad de la señal.

La Mesosfera no afecta de gravedad a las señales, pero sí la Ionosfera, esta capa es eléctricamente conductora ya que está siempre ionizada, esto es debido a la influencia de los rayos ultravioleta que emanan del Sol y que la Capa de Ozono filtra permitiendo la vida. En esta capa es donde se encuentran los satélites GPS y la influencia que tiene sobre las ondas transmitidas es la de introducir retardo en la portadora y el código, tiene una mayor influencia cuando el receptor está en la zona de Sol, ya que implicará que la Ionosfera esté más cargada que cuando no le da el Sol. Se suele corregir empleando receptores de frecuencia doble además de usar el modelo empírico de Klobuchar que reduce la influencia de este error a la mitad en una sola frecuencia.

Por último la Exoesfera no afecta ya que está por encima de los satélites.

· *Multicamino:*

Este efecto se produce cuando un receptor recibe réplicas de una señal desfasadas en el tiempo y con intensidades diferentes. Es suceso se da cuando una señal se refleja en una superficie y llega al receptor. Como no ha viajado por el camino directo (línea recta), habrá tardado más y habrá perdido energía en el camino. Este efecto tiene mucha más influencia cuantas más réplicas llegan al receptor y más degradadas están. Este error afecta a las medidas de código y de portadora además afecta gravemente a la fase de la portadora, en aplicaciones donde se requiere mucha precisión es un error crítico. Supone el 90% de los errores que suceden cuando se utilizan aplicaciones de portadora.

Es un efecto sumamente indeseado que afecta sobre todo en las ciudades con edificios altos.

· *Receptor:*

En este caso, los errores que se introduce son de tipo electrónico y se puede recurrir mejorando e invirtiendo capital en la construcción o mejora de los equipos receptores. Son errores que se deben al tiempo de procesado de los cálculos necesarios para el posicionamiento o a que los equipos tienen un ruido de base que puede influir en la señal que reciben, si la potencia que reciben es comparable a la potencia de ruido base, este podrá afectar a la demodulación de la señales. Por ellos se trata de superar la sensibilidad del receptor aumentando la potencia de los satélites.

· *Por geometría:*

En el apartado en el que se trata del diseño de la constelación, se habla de la separación angular que deben tener las órbitas de los satélites para que cubran a la perfección la superficie de la Tierra, pero estas además también se diseñan para evitar incurrir en errores de GDOP (Geometric Dilution of Precision). Cuando los satélites están demasiado juntos entre sí, provoca que el área que idealmente debe ser un punto, vaya ganando superficie, con lo cual se traduzca en una peor precisión.

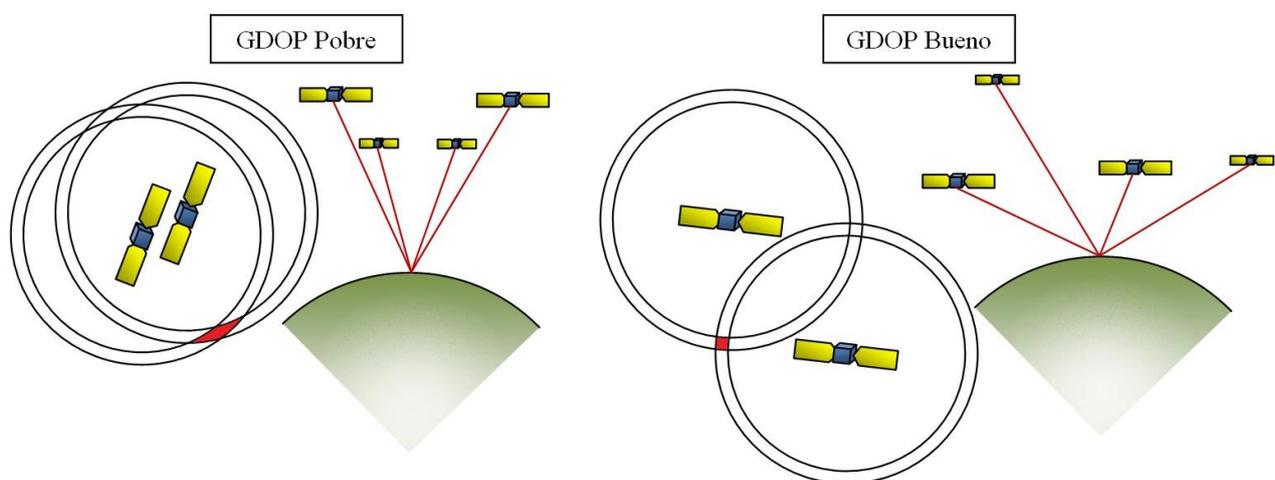


Figura 28: Error GDOP. Elaboración Propia.

Clasificación:

Podemos clasificar los errores de tres formas, *noise*, *bias*, *blunder*. El error por *noise*, únicamente implica que sobre la medida esperada, hay una diferencia en la magnitud. El error *bias* se refiere a que las medidas no son fiables, ya que convergen hacia un valor erróneo, esto puede verse claramente cuando se impone el SA. Por último, el error *blunder*, es un error que se da de forma sistemática, ya sea fallos en la conversión de coordenadas o similares.

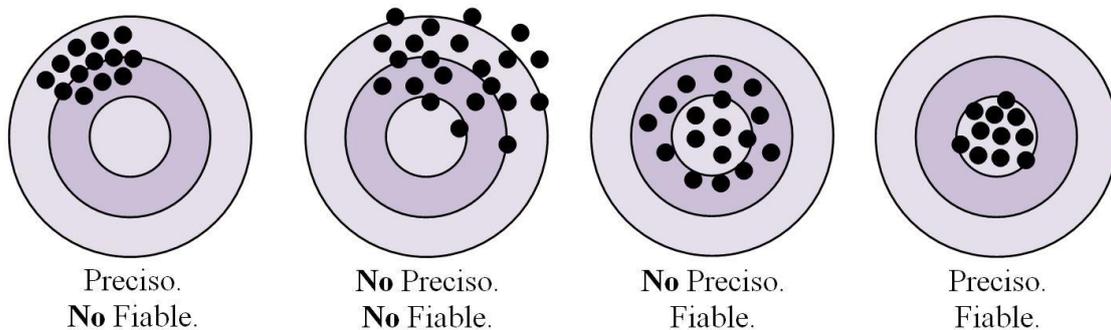


Figura 29: Tipos de Errores. Elaboración Propia.

Precisión.

La precisión es dependiente de varios parámetros, el tiempo de medida, el diseño del receptor, la posición de los satélites, la posición del receptor, tipo de receptor. Además de estos parámetros inherentes al sistema, también hay diferentes técnicas que se pueden usar para mejorar la precisión.

Hay varias técnicas en el funcionamiento de GPS:

- Funcionamiento en código:
 - SPS (Estándar Positioning Mode): con Anti-Spoofing, que es una limitación que puede imponer el gobierno de EEUU, solo se puede usar con la portadora L_1 .
 - PPS (Precise Positioning Mode): implica el uso de códigos militares y le permite ser mucho más preciso, también por usar las dos señales L_1 y L_2 .
- Interferométricos: estos métodos usan la fase de la portadora para mejorar la precisión y realizar medidas relativas como la estabilización de los ejes.
- GPS Diferencial (DGPS): recibe las correcciones desde una base cercana o de gran alcance, que permite ajustar los cálculos. Se calcula el retardo entre el satélite y la estación conocida, para luego, la estación, retransmitirlo al receptor. Permite reducir todos los errores, menos el de multicamino y el de receptor. Hay varios tipos dependiendo del tamaño del área.
 - *Área local:* cuanto más pequeña es el área mayor precisión podremos conseguir. Se retransmite por FM.
 - *Área amplia:* no es muy habitual, ya que, en este caso, no se gana mucho en la precisión.
- GPS Aumentado: añade correcciones desde posiciones que también proporcionan *ranging*. Además, se añaden nuevas ecuaciones al sistema para poder solucionar las incógnitas de distancia. En esta técnica, cada estación base transmite un pseudo-rango que le permite distinguirse de las demás.
 - *Ground Based (GBAS):* para aplicaciones *indoor*.
 - *Satellite Based (SBAS):* se usan satélites GEO, que actúan como satélites GPS y aportan información muy detallada, pero implica el uso de receptores especiales, que puedan recibir la potencia de las órbitas GEO.

3.2.3 Otros Métodos de Localización.

Aparte de GPS y todos los sistemas de GNSS, también hay otras formas de localización. Estas intentan, en cierta forma, resolver los inconvenientes que tienen los sistemas por satélite. Por ejemplo, ahora es un problema la localización de un dispositivo dentro de una fábrica o hangar o cualquier sitio cubierto que dificulte la señal de GPS. Además, los sistemas por satélites suelen tener un error de unos metros.

Por otro lado, también se han desarrollado otras tecnologías que pretenden no depender de los sistemas por satélites y hacen uso de otras tecnologías más baratas.

3.2.3.1 Bluetooth.[11]

La localización en interiores es un sistema emergente, está en desarrollo y es difícil de implementar debido a las múltiples variaciones que sufre el entorno y a que la tecnología Bluetooth, por su alta frecuencia de trabajo, se ve muy afectada por estas variaciones.

Estos factores son, la propagación multitrayecto, las variaciones de temperatura y humedad, la apertura y cierre de puertas, los cambios en la localización del mobiliario, y la presencia y movimiento de seres humanos en el entorno. Se puede comprobar que dado un dispositivo inmóvil del cual se quiere saber su posición, esta varía en el tiempo de forma aleatoria debida a que los procesos descritos son de naturaleza aleatoria.

El algoritmo que se emplea es el **RSSI (Received Signal Strength Indicator)**. Esto es una función que permite calcular la distancia a la que está el emisor que nos está contactando, en función de la potencia recibida.

El proceso de estima de la posición hace uso de balizas Bluetooth situadas en posiciones conocidas dentro de la zona de cálculo. Son necesarias al menos 3 de ellas para poder triangular la posición del objeto.

Este sistema debe ser calibrado, para ello, se enlazan las balizas mediante la función RSSI y una vez conocida la posición de las otras, se puede estimar a tiempo real las variaciones del entorno. De este modo se consiguen eliminar los errores, provocados por el entorno, en el cálculo del objeto desconocido. Dado que esta calibración se hace a tiempo real, no se necesitan algoritmos de entrenamiento, ni preparaciones previas, directamente se puede adaptar a una nueva área y reconfigurar las señales para optimizar la eficiencia del canal. Además se puede aumentar la precisión de la localización aumentando el número de balizas.

Todo esto es posible gracias a que a partir de la versión 1.2, los dispositivos Bluetooth incorporan un modo, "Inquiry", que permite activar la función RSSI. Mediante una petición de "Inquiry", podemos obtener la señal RSSI. Todos los dispositivos que estén dentro de cobertura además de que tengan activado el modo "Inquiry Scan", responderán a esta petición y se podrá determinar el nivel de RSSI. Con lo cual, no es necesario enlazar los dispositivos previamente para obtener el nivel de RSSI, basta con que los dispositivos que se han de localizar tengan el modo "Inquiry" activo además de estar visibles.

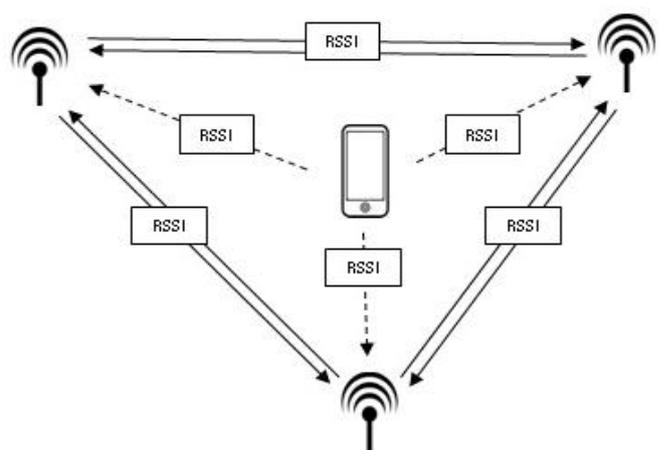


Figura 30: Posicionamiento Bluetooth. Elaboración Propia.

Este método tiene sus limitaciones, ya que el radio de acción no es muy amplio. Debido a la alta frecuencia de trabajo que usa esta tecnología, el radio se extiende a unos 10 metros hasta que empieza a perder calidad, lo cual dificulta mucho los cálculos correctos.

3.2.3.2 *WI-FI*.

El sistema de localización mediante *WI-FI* se puede usar tanto para interiores como para exteriores. Aunque como localización para exteriores es más un complemento que un sistema autónomo.

Localización en exteriores.

Todo dispositivo electrónico tiene asociado un número, una identificación, esta no cambia ya que viene de fabrica, con lo cual se distingue a ese dispositivo de forma inequívoca. Este número es la dirección MAC.

Este identificativo, es usado en los protocolos de comunicación en las redes *WI-FI*, es decir es compartido por los canales libremente y sin codificar, ya que por sí solo no implica un riesgo para la seguridad del usuario. Esto es así, porque es necesaria cierta información previa al enlace mediante contraseña.

Esta característica es la que explota este sistema, además necesitamos otros supuestos, como el de que los *router*, una vez instalados en una casa o establecimiento, rara vez se mueven. Y gracias a que en cada casa y/o establecimiento hay un *router*, hace muy fácil la triangulación de las señales.

Los *router WI-FI* envían continuamente su dirección MAC, así que cualquier dispositivo puede recopilar una lista de *router* con sus direcciones. El problema estriba ahora en que es necesario situar correctamente estos *router*, esto se soluciona mediante bases de datos privadas o no, que se encargan de esta tarea. Uno de los más significativos son los automóviles de Google Street View, que aparte de hacer las fotos en 360° también recopilaban las posición más o menos aproximada de todos los *router* que iba encontrando.

Dicho todo esto, cuando un usuario quiere conocer su localización y GPS no es lo suficiente preciso, basta conocer de forma aproximada la latitud y longitud y compararla con todas las MAC's que pueda recibir la antena *WI-FI* del usuario. De esta forma, se puede ofrecer una precisión más fina que la que ofrecería por si solo el GPS.

Localización en interiores.

Para poder hacer uso de este sistema, el sistema *WI-FI*, debe tener el protocolo de *WI-FI Location* perteneciente al grupo *WI-FI Alliance*⁸ empresa que gestiona el protocolo *WI-FI*.

Este protocolo permite el seguimiento de cualquier dispositivo que lo tenga, habiéndose o no enlazado previamente, con lo cual, los posibles usos se incrementan de forma exponencial. Por ejemplo, se puede generar un área virtual a partir de la cual un evento sucede o mantener constantemente localizados ciertos elementos móviles en una fábrica.

Hay que añadir que este sistema está sujeto también a las limitaciones típicas de cualquier comunicación vía radio. En un entorno tan cambiante como un centro comercial, por la afluencia de gente, cambios de humedad y temperatura, problemas como el multicamino pueden degradar mucho la precisión.

Funciona mediante balizas, estas son puntos de accesos que sirven como un *router* convencional, pero que además también permiten este tipo de procesos. Al contrario de la localización por Bluetooth, que hace uso del RSSI, este sistema recurre a TOA. Es un método que usa el tiempo para calcular la distancia a los dispositivos, por lo tanto requiere que haya una sincronización muy precisa, lo que hace necesario que todos lo AP's tengan una conexión constante. Esto también ayuda a compensar a tiempo real las variaciones del medio.

⁸ La *WI-FI Alliance* es una organización que busca promover la difusión y uso de *WI-FI*, certifica todos los productos que usan esta tecnología y se ajustan a las normas de interoperabilidad. Que no lleve el logo de *WI-FI* no implica la incompatibilidad con esta tecnología.

El número mínimo de balizas, para que se pueda localizar un dispositivo es de tres, con solo estas, podemos situar a un dispositivo en un plano 2D. Sin embargo si aumentamos el número de balizas, podremos situarlo en un espacio 3D y con precisión creciente. Cuantas más balizas mejor, pero más complejo el cálculo, así que hay que encontrar un compromiso entre la complejidad computacional y la precisión buscada.

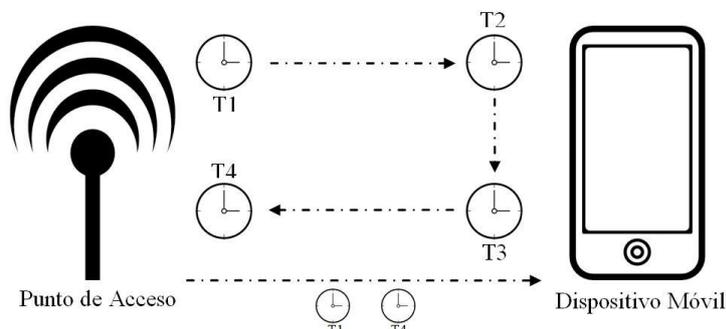


Figura 31: Localización en Interiores. Elaboración Propia.

El método de cálculo de distancias, se consigue enviando un paquete al que se marca con la hora en la que se ha enviado, con una precisión de nanosegundos, ya que la luz recorre unos 30 centímetros en un nanosegundo, y marcándolo también con la hora de llegada. De esta forma, se puede conseguir esta medida. Hay otras formas más complejas de encadenar dichos cálculos. Se puede hacer de forma periódica para proporcionar seguimiento a un usuario o ponderar varias medidas para aumentar la precisión.

3.2.3.3 LBS.[12]

La localización LBS explota las capacidades de las redes móviles, la red GSM, estas redes compartimentan las coberturas para dar un mejor servicio y poder gestionar la afluencia de tráfico más eficientemente. La red debe saber en qué zona de cobertura estamos en cada momento para poder direccionar cada llamada o paquete de datos que tengamos que recibir, con lo cual, podemos saber donde se halla un cierto terminal en un determinado momento.

Las divisiones se hacen de forma que se garantice el QoS (Quality of Service), con lo cual cuanto más pequeña sea un área y más dedicados sean los recursos a los clientes que estén en ella, mayor QoS tendremos. Por el contrario, cuantas más áreas distintas tengamos, más veces tendremos que hacer *handover* (proceso de cambio de un área de cobertura a otra). De un modo análogo, cuanto más pequeña sea un área de cobertura, mayor será la precisión con la que podremos localizar un dispositivo, pero por el contrario, volvemos a tener el problema del *handover*.

La división de una MAN (Metropolitan Area Network) es jerárquica, alcanzando los 7 niveles, el primero y más grande, es el **PLMN (Public Land Mobile Network)**, es el nivel más alto, esta área está formada por muchos **MSC (Mobile Switching Center)**. Estos a su vez contienen a los **BSC (Base Station Controllers)**, en este punto es donde se almacenan toda la información relativa al cliente y su MS (Mobile Station), son datos administrativos como PIN, PUK o la SIM, datos relativos a la seguridad y otros necesarios para el funcionamiento de la red.

El siguiente nivel lo forman las **LA (Location Areas)**, dentro de ellas se encuentra uno o más **BTS (Base Transceiver Station)**. Estos también son conocidos como **BS (Base Station)**, corresponden a la cobertura que se puede ofrecer en un barrio más o menos grande. Estas estaciones, suelen ser antenas sectoriales que dividen el espacio en 3 sectores de 120 grados, aunque esto puede variar en función del caso concreto a tratar.

Un **sector** cubre un área que tiene un tamaño y un formato determinado, dependiente de distintos factores, como la propagación en ese medio, la potencia de salida del transmisor, el tipo y altura de las antenas y las pérdidas de transmisión de la estación base.

Como GSM utiliza la modulación TDMA (Time Division Multiple Access) en el acceso a la red radio, necesita algún tipo de protocolo para la distinción entre cada MS dentro de un sector determinado. Esto se solventa con el parámetro TA (Timing Advance), el cual es proporcional a la señal RTT (Round-Trip Time) entre el MS y la antena de servicio en ese sector.

La señal RTT es la que se usa para calcular la distancia que hay entre la antena y el dispositivo que queremos localizar. Como siempre, las condiciones atmosféricas son cambiantes lo que provoca ligeras alteraciones en las características de las señales que se envían, velocidad, fase, frecuencia..., pero obviando esto por simplicidad y teniendo en cuenta el tiempo calculado además de la potencia de la transmisión, podemos calcular la distancia de una forma sencilla. Haciendo uso ahora de otros métodos, como la triangulación o trilateralidad, podemos situar un dispositivo dentro de esta área.

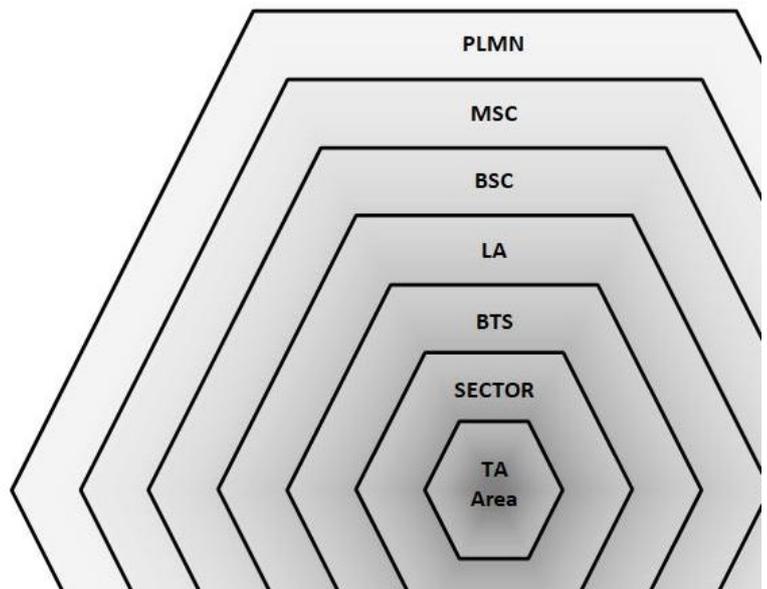


Figura 32: Jerarquía GSM. Elaboración Propia.

Pero aún resta un nivel más, este nivel jerárquico se fija mediante el parámetro TA, es decir, este parámetro subdivide un sector en **TA Areas**.

Por último, como característica de las redes GSM, el MS puede operar en varios modos. Existe el *modo activo* y el *modo idle*, además de otros. Para el *modo activo*, estado en el que el móvil es completamente operativo, la precisión que podemos lograr es la máxima, la del TA Area en la que nos encontramos. Sin embargo, para el *modo idle*, estado en el que el móvil se encuentra cuando lo acabamos de encender, la precisión a la que podemos optar es solo la de la LA.

3.2.3.3.1 GSM.

En la (Figura 33) podemos ver cuál es la arquitectura clásica de la red GSM (del francés, Groupe Spécial Mobile). Como se puede observar, consta de 2 capas bien diferenciadas, las cuales realizan tareas muy específicas.

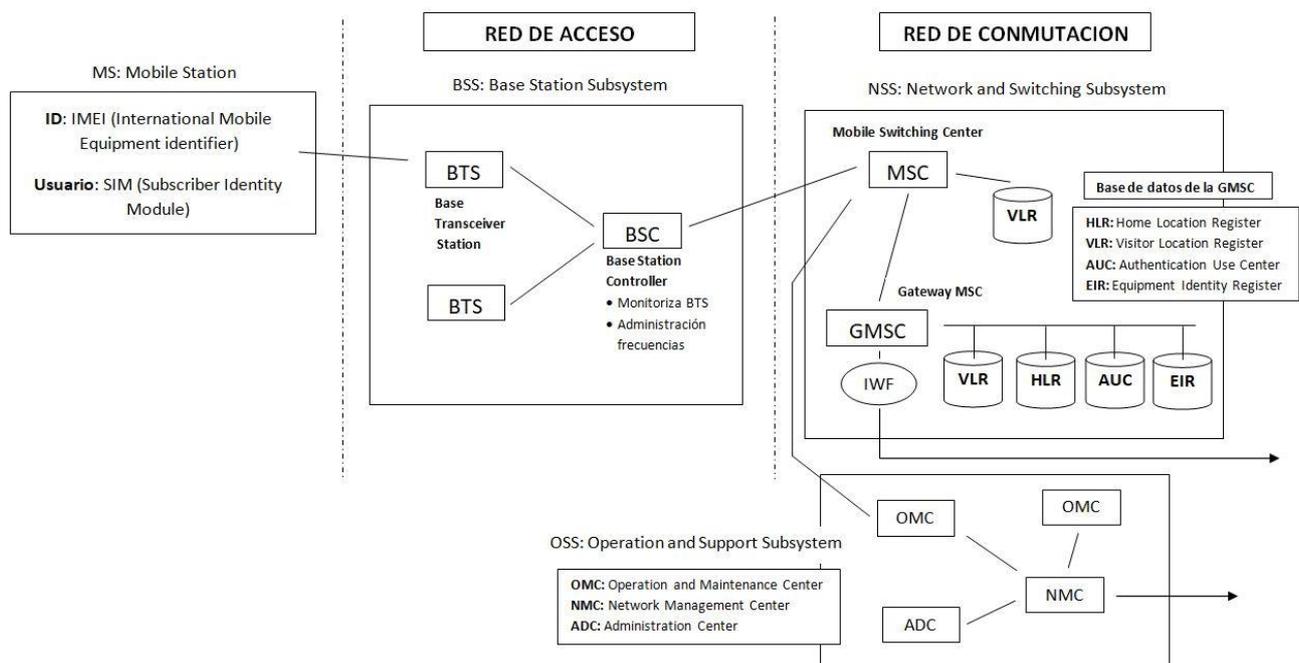


Figura 33: Arquitectura GSM. Elaboración Propia.

El teléfono móvil del usuario tiene varios identificadores que permiten a la red distinguir los diversos dispositivos que se conectan a ella. El IMEI, es un número que tiene el dispositivo de fábrica y actúa como elemento único y distintivo. Por otro lado, está la tarjeta SIM, contiene varios números que permiten identificar al suscriptor, el número de teléfono que usamos para llamar, es el más conocido. Con estos datos podemos gestionar la pareja de dispositivo-usuario, por ejemplo, si un móvil se pierde, mediante el número de IMEI puede bloquearse y evitar perder información. También se puede localizar un dispositivo dentro de las zonas de cobertura y geoposicionarlo dentro de la red MAN correspondiente.

La capa de Acceso, la compuesta de todas las antenas que se encargan de la comunicación física entre el centro de conmutación y los distintos usuarios. Como ya se ha visto, la subdivisión del área de cobertura en zonas más pequeñas, requiere una gestión, asignación de frecuencias para evitar interferencias, facilitar el handover para pasar de una zona a otra... Está formado por dos elementos, los centros de transducción BTS, es decir las antenas y los centros de monitorización y administración, BSC.

Por último, la capa de conmutación, la encargada de direccionar todos los paquetes que se recuperan de las señales de radio, además de contener toda la información relativa a los usuarios, métodos de pago, tarifas contratadas, listas negras de dispositivos, también gestiona la seguridad de la red y los métodos de autenticación.

3.2.3.3.2 GPRS.

La red GPRS (del inglés, General Packet Radio Service), es una tecnología que mejora las prestaciones de GSM posibilitando el envío y recepción de paquetes de datos. El motivo de esto, es que la red GSM no fue diseñada para hacer uso de los servicios de las redes IP, por lo tanto, estas nuevas características permiten al dispositivo conectarse a internet.

Las mejoras que proporciona GPRS son entre otras, los servicios de mensajería instantánea, la posibilidad de utilizar el dispositivo como modem USB, servicios P2P (peer to peer), es decir, comunicación directa entre clientes dentro de una aplicación. Sin olvidar la mejoría de los sistemas de SMS (Short Message Service) y MMS (Multimedia Messaging Service), servicios de mensajería con datos multimedia, fotos, videos, audios, etc....

En definitiva, la gran mejoría que hizo esta nueva tecnología es la de incorporar la conmutación de paquetes en la forma de encaminar los datos entre terminales, ya que, GSM establece un canal dedicado a una conversación el cual se libera tras haber proporcionado el servicio.

Capítulo 4. Aplicación práctica en la empresa.

4.1 Introducción.

Este trabajo fin de grado, tiene su origen en las prácticas en la empresa BUSCAMOBILE del GRUPO BUSCALIA, que está dedicada a la Gestión Inteligente de Transporte (GIT), pero no se cierra a esto, está constantemente buscando nuevas oportunidades y vías de negocio exitosas y punteras. Por lo tanto, la idea de aprovechar todos estos recursos y conocimientos para poder desarrollar un trabajo interesante y con contenido, fue muy atractiva.

4.1.1 Antecedentes de la empresa.[13]

El GRUPO BUSCALIA, es una empresa de base tecnológica con sede en la Universitat Politècnica de València, está dedicada a la Gestión Inteligente de Transporte (GIT), con muchos años de recorrido a sus espaldas.

Está formada por un grupo de profesionales que utilizan el desarrollo tecnológico como vía directa al éxito empresarial. Apuestan por la innovación, que sabiamente encauzada desemboca en el aumento de productividad y eficiencia dentro de la empresa.

Está conformando un historial repleto de hitos y logros que ponen de manifiesto sus buenas decisiones., ya que la mayoría de las empresas emergentes, acaban cayendo en quiebra a los pocos años de vida. La competencia feroz que existe en el mundo de la tecnología hace muy fácil este hecho y muy difícil triunfar.

Se fundó como Busca Mobile, S.L. en 2004, en este momento comenzó sus primeros pasos hasta que en 2006 recibió el Premio Bancaja y Premio Ideas U.P.V. reconociendo su emprendimiento. Esto le sirvió como impulso para desarrollar Buscalia SMS en 2007. Poco después siguieron avanzando y desarrollando nuevas capacidades, en 2009 incorporaron el posicionamiento GPRS en tiempo real.

Durante todo este tiempo continuaron en paralelo con su negocio más importante, el desarrollo e implementación de sistemas de monitorización y tracking mediante GPS, en 2010, lograron el millar de vehículos con dicho sistema.

El siguiente paso que dieron, fue el de ser más ecológicos, en el sistema integrado que diseñaron, incluyeron un lector de CANbus, que les permitía ser más eficientes y ahorrar costes. Buscalia CANbus + ECOdriving fue un compromiso, no solo con la tecnología, sino también con el medio ambiente. En 2015, consiguieron incorporar nuevas funcionalidades, novedosas y emergentes para la gestión automatizada de los ficheros de los tacógrafos incluidos en el sistema. El año siguiente, se adhirieron al Patronato del Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial (ai2 de la U.P.V.).

Modelo de negocio.

El GRUPO BUSCALIA, se sustenta actualmente sobre tres pilares bien definidos, que son Buscalia GPS, Buscalia Tacógrafo, Buscalia ECOdrive.

La primera y más antigua, es la gestión de flotas. Se basa en la monitorización y seguimiento de los sistemas instalados. Este servicio incluye tanto el localizador GPS como la plataforma online que permite tomar decisiones a tiempo real. Esta plataforma se llama BuscaMan, consiste en la visualización de un mapa en el que se sitúa un marcador que representa el vehículo que se pretende monitorizar. También permite el cálculo y planificación de rutas, el control de dichos recorridos y creación de puntos o zonas de interés que una vez sobrepasadas permitan ciertos eventos, generar informes, crear alertas, incluso un servicio de mensajería mediante SMS que facilita la comunicación con el personal de la flota, proveedores, clientes, etc.

El segundo pilar es Buscalia Tacógrafo, esta solución añade al sistema de localización GPS un tacógrafo. La lectura de este sensor y la descarga de estos datos se facilitan también en el servicio web. Esto permite averiguar los tiempos de descanso de un conductor, si se ha desviado, si se ha desconectado el GPS...

El tercer pilar es el de Buscalia ECOdrive, mediante la lectura del tacógrafo y las medidas avanzadas de telemetría, aseguran que el vehículo vaya a la velocidad óptima, que haga los descansos reglados, que siga la ruta sin desviarse y que el itinerario establecido sea el que realmente se ha realizado.

En definitiva, el modelo de negocio de esta empresa está basado en la tecnología GPS y en diseñar servicios que recojan mediante las redes GSM y GPRS todos los datos que se quieran manejar.

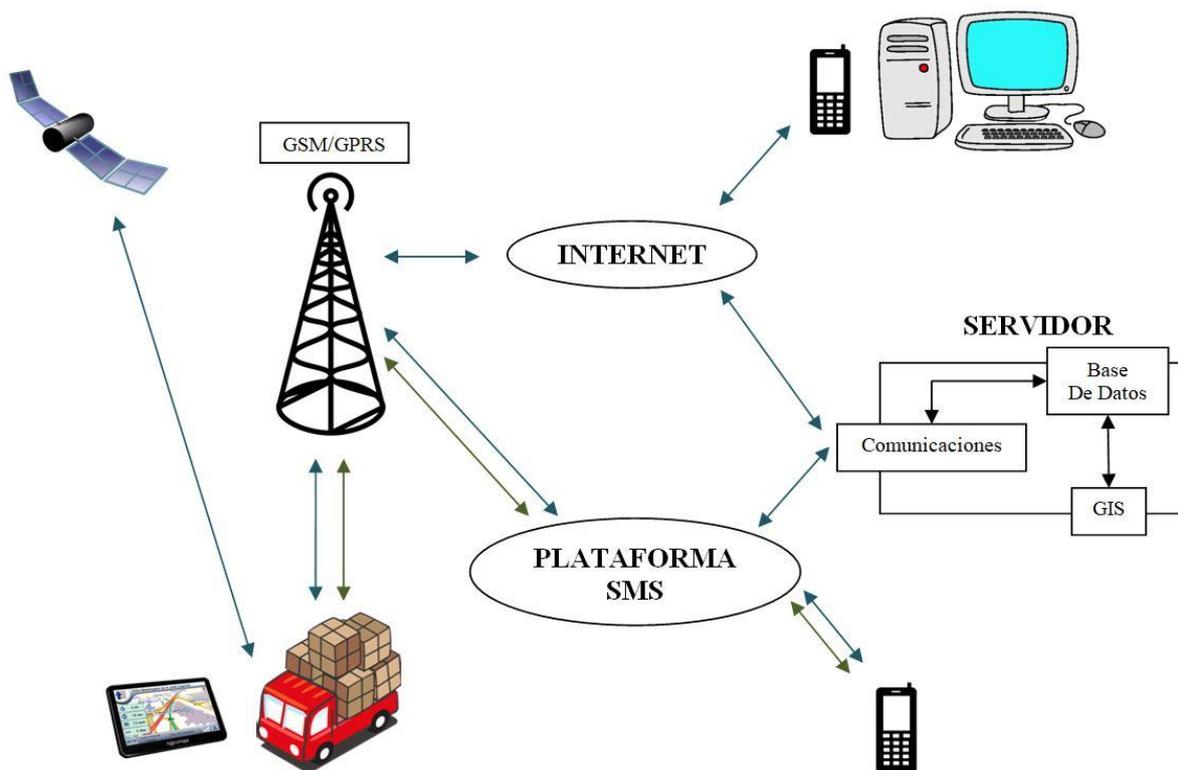


Figura 34: Infraestructura Grupo BUSCALIA. Elaboración Propia.

Como pilar básico, encontramos el GPS, es el encargado de proporcionar todos los datos necesarios para establecer el servicio. El localizador GPS se pone en contacto con el satélite, una vez establecida la conexión, se pueden obtener todos los datos necesarios.

El localizador también tiene acceso a la red GPRS ya que tiene instalada en su circuitería una tarjeta SIM. Esta es la encargada de enviar al servidor de la empresa toda la información. Esta llega en bruto y mediante distintos protocolos se decodifica. La justificación del uso de la red GSM es que el localizador embarcado del vehículo también puede servir la información mediante SMS, esto es así, ya que la cobertura de la red GSM es mucho mayor y requiere de menos recursos que la red GPRS

Toda esta información se almacena y se sirve a la aplicación para que sea accesible y tenga un aspecto amigable y sencillo de tratar para un usuario sin conocimientos avanzados. Se dispone de un sistema GIS (Sistemas de información Geográfica) para presentar los mapas más actualizados y en ellos situar la posición del localizador GPS.

4.2 Problemática.

Esta empresa tenía como objetivo el investigar un nuevo modelo de negocio para intentar desarrollar nuevos modelos de negocio, como son una empresa de localización mediante GPS, el objetivo fue el de buscar nuevas vías de negocio que implicaran el uso de dispositivos de localización que fueran económicos y de fácil implementación. Como el Grupo Buscalia ya dispone de dispositivos que pueden implementarse en camiones o vehículos pesados, se pensó en buscar GPS que pudieran instalarse en bicicletas, motos o turismos, de fácil instalación y dando un soporte continuado en la plataforma web.

4.2.1 *Nuevas vertientes de negocio. Bicicletas, motocicletas, patinetes eléctricos...*

Hay mucha gente que se dedica al ciclismo; desde la perspectiva del aficionado, se forman grupos de ciclistas que viajan a pueblos cercanos a su residencia donde van y vuelven en bicicleta y donde descansan comiendo entre ambos trayectos. Que sean aficionados, no quita que las bicicletas que usan sean profesionales y cuesten mucho dinero, por lo tanto es una posesión que debe tenerse vigilada. Este tipo de entretenimiento es bastante común en el interior de la Comunidad Valenciana, debido a la cantidad de accidentes geográficos que podemos encontrarnos.

Además de este público objetivo, también podemos pensar en la cantidad de bicicletas que se usan gracias los nuevos carriles-bici que se han construido en la ciudad y a que Valencia es de las ciudades que más estudiantes de Erasmus y extranjeros acoge durante el año.

No podemos olvidar tampoco la nueva afluencia de patinetes eléctricos que están copando el mercado actualmente y que su precio ronda los cientos de euros.

La idea inicial que se tuvo, fue la de explorar en el mercado vigente en busca de soluciones que pudieran ser adaptadas a la plataforma de Buscalia y de esta forma dar un servicio integrado de localización a vehículos. Este sistema debía ser de bajo coste, se debía contemplar la posibilidad de que tuviera o no batería, debía ser ocultable o especialmente pequeño, ya que el objetivo no era el de seguimiento de forma continua, si no el de recurrir a este servicio en caso de robo, aunque la configuración del dispositivo es moldeable. En el caso de una bicicleta, normalmente, no tienen batería, por lo tanto el GPS debe tener la suya propia incluida, además, esta debe durar al menos un día para que pueda ser recargada o sustituida. Debe ser lo suficientemente pequeño para que pueda ser escondido en algún lugar de la bici. Estos vehículos pueden estar sometidos a condiciones climáticas más o menos adversas, por lo tanto el dispositivo debe tener una IP⁹ alta.

Si se quiere usar, en cambio en una moto convencional o patinete eléctrico, el dispositivo puede no llevar una batería, ya que esta puede conectarse a la alimentación del vehículo. Debe ser pequeño también, para poder ser escondido. Por otro lado, el dispositivo no debe consumir mucha energía o se puede correr el riesgo de dejar al patinete sin la suya. En el caso de un vehículo motorizado, lo ideal es que el dispositivo tenga una batería y que además pueda ser conectado al motor para hacer uso de ciertas capacidades que esto permite. En el siguiente apartado se ampliarán estos conceptos.

Por lo tanto, uno de los aspectos claves, son las baterías, ya que determinan en qué vehículo se puede usar el dispositivo. El localizador más polivalente, será el que tenga batería incorporada ya que podría usarse tanto en un vehículo con alimentación incorporada como en uno que naturalmente no tenga elementos eléctricos.

⁹ IPxx hace referencia a una norma internacional que expresa cuan protegido está un dispositivo a las condiciones ambientales. El primer valor indica cual es la protección del dispositivo ante la entrada de objetos sólidos y el segundo habla de la protección contra el agua. Cuantos más altos sean ambos valores, mayor protección ofrece el dispositivo a estas condiciones.

4.3 Búsqueda de los dispositivos.

4.3.1 Estudio del vendedor.

Este estudio es importante, ya que en una etapa posterior del proyecto, sería conveniente contactar directamente con el fabricante del dispositivo para intentar lograr algún tipo de ventaja económica al proponer una compra de un volumen superior a la unidad. Incluso esta negociación puede llevarnos a que se puedan modificar diferentes elementos en el diseño y evitar hacer esta tarea directamente.

4.3.2 Parámetros y características.

Chip GPS y chip GSM/GPRS

El diseño de un localizador GPS puede variar mucho, pero siempre ha de tener una circuitería básica con la que trabajar. Debido a la infraestructura del Grupo Buscalia, todos los dispositivos que se han barajado, deben tener chips de GPS y GSM/GPRS, ya que la forma de enviar los datos al servido de Buscalia, son mediante SMS o internet.

Batería.

Después se debe plantear si el dispositivo tendrá batería integrada o estará conectado a una batería externa. Esto es de suma importancia, si queremos que el dispositivo esté constantemente enviando su posición, debe estar alimentado sin interrupciones, con lo cual necesita una batería que pueda acometer esta tarea. Sin embargo, una batería es un elemento caro y que necesita ser recargada, con lo cual se debe pensar un método para la sustitución de las baterías y la recarga de las mismas. Por otro lado, si el dispositivo no la lleva incorporada, necesitará una instalación previa, esta tendrá que ser conectada directamente a la batería del vehículo para evitar que haya desconexiones. Pero si elegimos esta opción, debemos tener en cuenta que una frecuencia alta en el envío de la posición del dispositivo, conlleva un mayor gasto de recursos, tanto económicos, como energéticos y esto puede suponer que el vehículo se quede sin batería, si ha permanecido el tiempo suficiente estático y con el motor apagado.

Una característica a tener en cuenta es la venta en pack del dispositivo, dos baterías y un cargador externo.

Memoria interna.

Otro punto clave, es la necesidad o no, de una memoria interna. Este es un recurso que puede ser muy útil, ya que si este localizador se usa para el seguimiento de un vehículo que pueda entrar en zonas donde no haya cobertura o esta pueda dar problemas, como por ejemplo zonas alejadas de las ciudades o rodeadas de montañas, la información del seguimiento pueda ser guardada y enviada más tarde. El tamaño de esta memoria no debe ser muy grande, aunque lo ideal es que fuera sustituible, ya que esto permite la ampliación de la misma. Un ejemplo claro, puede ser un ciclista que se dedique al montañismo, donde puede obtener una señal GPS fácilmente, pero quizá sea más difícil la señal móvil.

Número de entradas adicionales.

En función de la complejidad del dispositivo, este puede tener en su circuito integrado entradas adicionales que permitan otras operaciones aparte de las básicas. Estas pueden ser, enviar una señal de habilitación o inhabilitación del sistema de inyección, lo cual permite que el motor se se pare dejando esta entrada en alta impedancia, esto es útil si usamos el dispositivo en un vehículo susceptible de ser robado. Si esto ocurriera, podemos apagar el motor y evitar que pueda conducirse hasta que activemos la orden de restablecimiento.

También hay otras posibilidades como las de la detección del arranque del motor, un cable conectado adecuadamente puede indicarnos si el motor se ha arrancado y enviar dicha información al propietario.

Otra posibilidad es la de poder conectar un micrófono, esto daría la capacidad de hacer una llamada al dispositivo y oír lo que reciba el mismo.

Aplicación integrada y cambio de dominio.

Hay muchos dispositivos en el mercado que tienen una aplicación y una web asociadas para facilitar la lectura de los datos y que cualquier usuario pueda utilizarlo. Lo interesante en este punto, es que el dispositivo permita configurar una nueva dirección a la que enviar toda la información. Esta nueva dirección debe ser el servidor del Grupo Buscalia, o cualquier servidor donde se pueda gestionar, se decodificará lo recibido por internet, ya que el dispositivo puede enviar toda esta información por GSM/GPRS. De esta forma, la empresa podrá gestionar estos datos y ofrecer las funcionalidades oportunas.

Alarmas.

En función de la complejidad del circuito integrado que elijamos, el dispositivo puede ofrecernos distintas alarmas. Podemos tener alarmas zonales, se puede configurar un área determinada en un mapa, a partir de las coordenadas en el globo y decidir que se nos avise, tanto si salimos como si entramos en dicha zona.

También hay dispositivos que incluyen alarmas de movimiento, cada vez que el dispositivo sufre un cambio de posición puede avisarnos, esta función puede ser programada tanto por GPS como usando un acelerómetro. Esta alarma es mucho más sensible con el acelerómetro, ya que el GPS tiene cierto margen de error que se debe superar para que la active.

Otra función que hace uso del GPS es la de alarma por velocidad, si sobrepasamos cierta velocidad, el dispositivo debe lanzar un mensaje que nos avise de ello.

Una de las alarmas más importantes si usamos un localizador con batería, es aquella de que nos avisa cuando esta caiga por debajo de un porcentaje. Esta función es de suma importancia, ya que facilita la gestión del dispositivo.

Conectividad.

Gracias a la estandarización que ha sufrido la tecnología USB, prácticamente la mayoría de dispositivos permiten la recarga de las baterías, además de la descarga de datos de la memoria interna, mediante este tipo de cable.

Otras funcionalidades.

Por último, el dispositivo también puede realizar funciones como la del modo “*sleep*”, esto se refiere a que el localizador queda a la espera, usando el mínimo de recursos posible, para ahorrar batería, para solo encontrar satélites y enviar su posición, cuando se haga la petición.

Otra función interesante es la de poder operar simultáneamente mediante GSM y GPRS, esta función parece evidente y normalmente implementada, pero no siempre lo está, por lo tanto es una característica que debe analizarse.

Muchos dispositivos tienen incluido un botón de SOS, que permite enviar una señal de alarma, si fuera necesario. Este botón puede tener otras funciones, como la de avisar de que se ha llegado a un sitio determinado.

Precio.

Como el objetivo de este proyecto es la búsqueda de dispositivos de bajo coste económico, se estableció un límite superior.

Robustez.

El dispositivo debe tener una IP alta, como se ha descrito previamente. Puede estar sometido a altas temperaturas si se sitúa cerca del motor del vehículo, que pueden llegar a fundir los plásticos usados en la construcción, a lluvias espontáneas, a tierra y polvo. Además la protección frente a caídas debe ser eficaz.

4.3.3 Selección de los dispositivos.

Estudiando todas las características y casuísticas anteriormente descritas, se ha llegado a la conclusión de que el dispositivo ha de tener las siguientes características básicas.

- . Chip GPS.
- . Chip GSM/GPRS.
- . Tarjeta SD.
- . Entradas adicionales.
- . Alimentación por USB.
- . Precio inferior a los 80€.
- . Configuración del dominio.
- . Carcasa robusta.
- . Poco volumen.



Figura 35: Preselección de dispositivos. Elaboración Propia.

De todos los que se revisaron en internet, esta fue la selección que se hizo. Como puede observarse, hay cuatro que tienen batería integrada y otros dos que requieren instalación, de esta forma se pueden cubrir todas las posibilidades y supuestos.

4.4 Análisis general.

4.4.1 XCSOURCE AH207

Este dispositivo, como se puede ver no tiene batería, por lo cual requiere instalación. Al abrirlo, se pueden observar claramente tanto el chip de GPS como el chip de GSM/GPRS, también se aprecia que hace uso de una SIM grande. Se comprueba que tiene cuatro entradas adicionales, estas permiten generar alarmas de encendido de motor, control de la inyección de aceite y dos más que permiten instalar un micrófono. En cambio, no dispone de tarjeta SD.

Por otro lado, leyendo el manual que tiene incorporado, se describen otras alarmas como la de *overspeed*, que permite poner un límite superior de velocidad, de movimiento y alarmas zonales.

También dispone de página web que permite la lectura de datos de forma amable en un mapa. Se encontraron comandos que hacen referencia a cambio de dominio, con lo cual cumple con el requisito de integración en el GRUPO BUSCALIA.

Es fácilmente configurable, ya que el manual describe perfectamente el funcionamiento del mismo y responde bien a los comandos básicos. Se probó si la información que remite es fiable en la página web que te ofrecen y sitúa perfectamente el localizador.

También tiene una opción, que permite recibir un SMS con la localización del mismo, en los mapas de Google Maps, lo cual hace sumamente sencilla la interfaz software-usuario. Aunque este método no permite el seguimiento continuado.

Otro aspecto clave, es el tiempo que pasa desde que se enciende hasta que encuentra satélites, en este dispositivo es de aproximadamente un minuto y medio, lo cual lo hace muy rápido. Ya que permite que no se recorra mucho espacio desde que se enciende hasta que envía la primera posición. Si pensamos en utilizarlo para la seguridad de un vehículo es bastante eficaz.

La carcasa no es muy robusta, pero se puede ocultar con facilidad dado su tamaño.

4.4.2 TONGSHI Mini.

Este dispositivo fue una decepción, ya que a priori, parecía muy interesante, es pequeño y vale muy poco, en torno a los diez euros.

Una vez abierta la carcasa, nos dimos cuenta de que no disponía de chip GPS, solo posee un chip de GSM que permite configurarlo. La SIM se inserta por uno de los laterales la cual actúa de botón de encendido. Esto puede interpretarse como un sistema de seguridad.

Fue rápidamente desechado ya que al no disponer de GPS no tiene sentido, seguir probando opciones.



Figura 36: XCSOURCE AH207.

Fuente: <https://www.amazon.es/>



Figura 37: TONGSHI Mini.

Fuente: <https://www.amazon.es/>

4.4.3 GL300

Es el dispositivo más caro que se ha estudiado, esto es evidente solamente observando el dispositivo. Demuestra tener unos materiales de calidad, además es hermético y por lo tanto resiste la entrada de agua.

Tiene batería integrada, lo que permite, junto con el tamaño, realmente pequeño, esconderlo en cualquier punto del vehículo.

La tarjeta SIM se inserta por uno de los laterales, a través de una tapa fijada al aparato con tornillos.

En la caja donde venía embalado, contiene tanto un USB con el que conectarlo a un ordenador, como un cable que permite la carga directamente conectándolo a un enchufe. También dispone de un cable que se conecta a la entrada de mini USB para poder ampliar las capacidades del dispositivo, pero no es necesario para el funcionamiento básico del dispositivo.

La forma de acceder al manual, es descargándolo directamente desde la pagina web del dispositivo. Esta, también permite descargar un programa que permite configurar un ordenador como un servidor con el que recibiríamos la información del localizador.

Los manuales están perfectamente detallados, se dispone de un manual específico para los comandos de configuración. Hay todo tipo de configuraciones y alarmas.

La posición enviada por el dispositivo es exacta y fiable. Responde perfectamente a los comandos básicos.

Sin duda, este es el dispositivo de mayor calidad, aunque también es el más caro, ronda los 50 euros.



Figura 38: GL300.

Fuente: <https://www.amazon.es/>

4.4.4 VEHICLE TRACKER

Este dispositivo también fue un fiasco, fue parte de un pedido que se hizo de los dispositivos más baratos que conseguimos encontrar en las webs. Cuesta unos diez euros, pero no proporciona con fiabilidad la posición del dispositivo.

La carcasa es muy poco robusta y no inspira confianza. Además, requiere de instalación, lo cual añade costes a su integración. Se desestimo rápidamente.

Este dispositivo ayudó a fijar un límite inferior en el precio que debe tener un dispositivo para que sea fiable. Este límite asciende a los veinte euros ya que un gasto económico inferior no permite tener la certeza de que el dispositivo sea fiable.



Figura 39: VEHICLE TRACKER.

Fuente: <https://www.amazon.es/>

4.4.5 CITTATREND TK102B.

El siguiente localizador, es uno tipo petaca, muy compacto y con una robustez relativa. Apartemente es bastante fiable, pero no es hermético. Si fuera elegido, en futuras etapas del proyecto, la carcasa puede ser cambiada o mejorada.

Al abrir la carcasa se puede observar que tiene el chip GPS y GSM/GPRS. También se aprecia que la tarjeta SIM que necesita es la más grande.

Es un dispositivo que tiene batería incorporada, según viene escrito en ella, es de 3.7V y 1000mAh.

También tiene incorporado una bandeja para insertar la tarjeta SD, lo que permite el almacenaje de cierta información. Tiene un botón de SOS en uno de los laterales, pero el cable que usa no es USB.

Tiene unas entradas específicas para poder conectar un micrófono, además también permite obtener la posición del dispositivo mediante una llamada. El usuario hace una llamada convencional a la tarjeta del dispositivo y este envía la posición, al móvil que lo ha llamado. Esta posición se puede enviar en formato SMS o con un link a Google Maps. El formato del SMS es simple, solo envía la hora y la latitud y longitud de la posición.

En la caja, viene acompañado de unos discos que permiten instalar en un ordenador cualquiera, un servidor que reciba todos los datos necesarios. Esto nos hace pensar que el dispositivo puede funcionar en otras plataformas solamente configurando la dirección de envío de los datos.

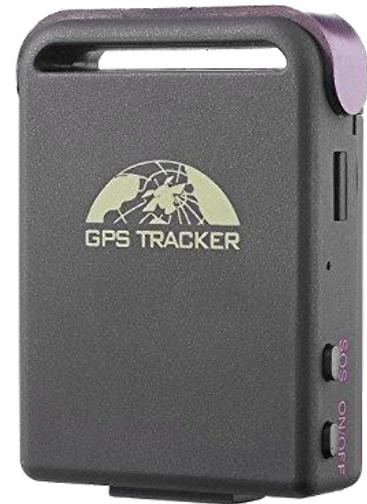


Figura 40: CITTATREND TK102B.

Fuente: <https://www.amazon.es/>

4.4.6 TONGSHI TK102B

Este último dispositivo parece ser una copia del anterior pero con menos funcionalidades. Es un localizador tipo petaca, muy compacto que posee prácticamente todas las funcionalidades típicas de estos dispositivos.

Al abrir la carcasa, nos fijamos que el dispositivo tiene GPS y chip de GSM/GPRS, además de tarjeta SD, pero da la sensación de que tiene una calidad inferior al anterior. Esta idea también fue promovida por el precio más bajo de este dispositivo.

Probando las configuraciones más básicas, nos cercioramos de que no posee GPRS o por lo menos, no funcionaba correctamente. La forma de configurarlo es simplemente enviar un SMS al dispositivo con unos comandos.

Esto nos llevo a pensar en descartarlo, que aunque funciona perfectamente por otros métodos, no encaja en los criterios previamente seleccionados y no permite la integración en la plataforma del Grupo BUSCALIA.

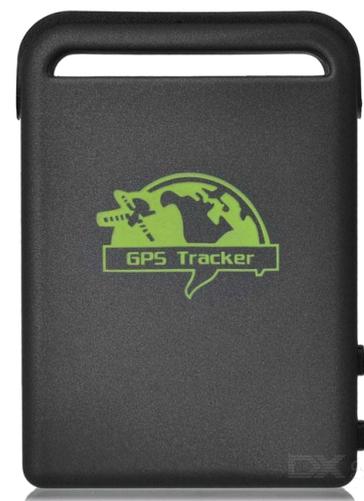


Figura 41: TONGSHI TK102B.

Fuente: <https://www.amazon.es/>

Elección y Criba

Tras hacer un estudio general de las capacidades de los dispositivos, se descartaron los que no cumplían los requerimientos básicos, como pueden ser tener modulo de GPS o GSM/GPRS. Otras características buscadas fueron las de la robustez del dispositivo o la falta de conectividad.

Por lo tanto se acabó eligiendo dos dispositivos a los cuales se aplicó un análisis pormenorizado y más exhaustivo que ampliaban las capacidades y posibilidades que ofrecían a priori.

Los dispositivos elegidos fueron:

- . XCSOURCE AH207.

La elección de este dispositivo permite ofrecer un servicio de muy bajo coste, pero requiere instalación. Las pruebas preliminares han sido satisfactorias y merece la pena seguir estudiándolo más profundamente.

- . GL300.

Por otro lado, este es un dispositivo bastante más caro, pero que permite una rápida integración por parte del usuario.

4.5 Integración y testeo.

En esta sección, trataré de ahondar y probar más profundamente las capacidades de los dispositivos elegidos.

4.5.1 XCSOURCE AH207.

4.5.1.1 Especificaciones y Circuitería Básica.

Este dispositivo posee unas dimensiones de 87x44x13 milímetros y un peso de 46 gramos aproximadamente. Estas características lo hacen especialmente idóneo para poder esconderlo, si su función fuera la de ser localizado para evitar una sustracción.

Posee capacidad de conectarse tanto a la red GSM como a la de GPRS, en la (Figura 42), puede observarse el módulo que permite estas conexiones. La banda de frecuencia de trabajo son las de 850, 900, 1800 y 1900MHz. Además del chip GPS podemos decir que tiene una sensibilidad de unos -160dBm y un error máximo de unos 5 metros.

Según viene escrito en las especificaciones, tiene unos tiempos de puesta en marcha de 45 segundos en *cold status*, 35 segundos de *warm status* y apenas un segundo en *hot status*.

El rango de funcionamiento en función de la temperatura es de -20° C a 55°C, lo cual no hace factible su instalación bajo el capó del coche, debería extenderse al interior o alejarlo del motor, ya que la temperatura en esa zona del coche asciende a más de 55° C.

A continuación se presentan unas imágenes que muestran la circuitería del dispositivo.

Como puede observarse, están presentes los módulos básicos de GPS y GSM/GPRS. También se resalta la bandeja para la tarjeta SIM y que el dispositivo posee un puerto mini USB.

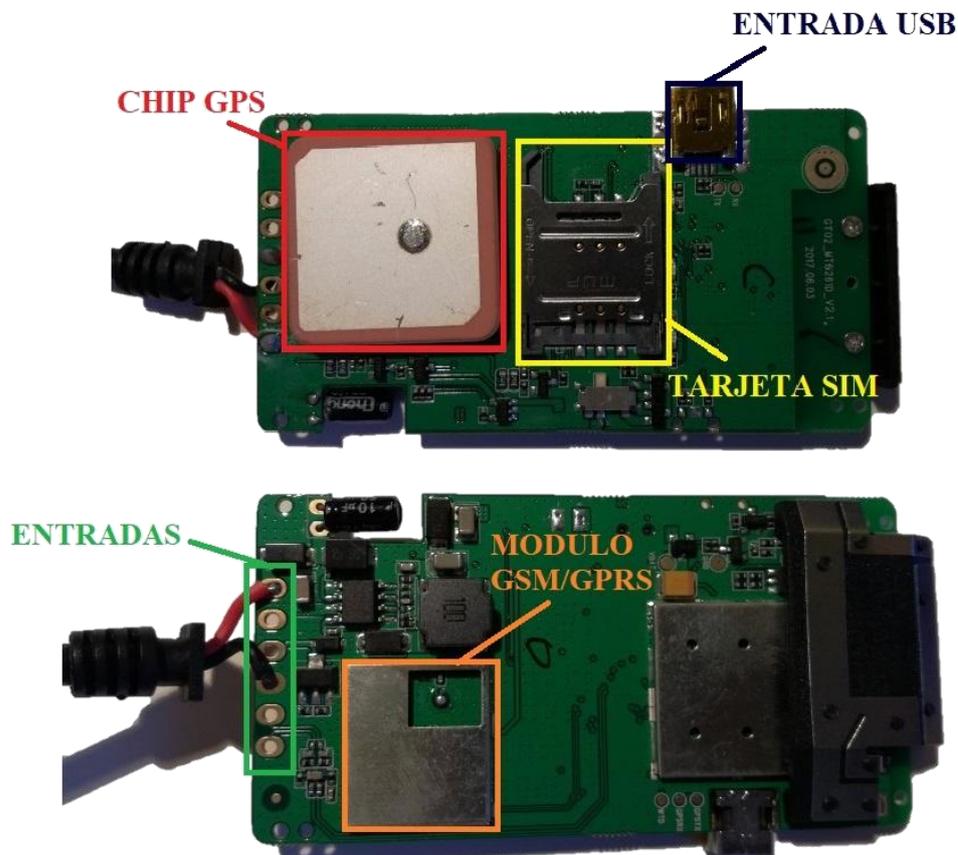


Figura 42: Circuitería XCSOURCE AH207. Elaboración Propia.

El recuadro verde resalta las entradas adicionales que puede usar el dispositivo, estas ofrecen capacidades opcionales como la de enviar una señal de alarma cuando el motor se enciende, cuando el motor pone a esta entrada en un nivel energético superior, esta activa el envío de un SMS con la información de la hora y un mensaje indicando que se ha encendido el motor. Posee otra alarma que permite mantener el circuito eléctrico del motor apagado, hasta nueva orden y de este modo evitar que pueda conducirse el vehículo. Esto se consigue poniendo esta entrada en alta impedancia o en corte.



Figura 43: Entradas adicionales. Elaboración Propia.

Hay otras dos entradas adicionales, aparte de las que permiten alimentar el dispositivo, que están ahí para la conexión de un micrófono. Esto permitiría al dispositivo recibir una llamada, la cual solo permite la comunicación en un sentido, pero puede ser interesante en según qué casos.

La carcasa permite que la luz de 3 leds pase a través de ella para indicar varias cosas, que el dispositivo está conectado a la alimentación y si hay conexión o no tanto de GSM como de GPS. Al pasar diez minutos del encendido y puesta en marcha del dispositivo, los leds se apagarán para ahorrar energía y facilitar que pueda esconderse.

INDICADOR LED		SIGNIFICADO
Verde	Fijo	Conexión GSM
Verde	Intermitente	Sin Conexión GSM
Azul	Fijo	Conexión GPS
Azul	Intermitente	Buscando Satélites

Tabla 2: Código de leds XCSOURCE AH207. Elaboración Propia.

Cuando el dispositivo localiza tanto la red GSM como la red GPS, la información enviada es la de la latitud y longitud que proporciona el sistema GPS, cuando no están disponibles los satélites o la cobertura no permite establecer con ellos la conexión, la información enviada es la de localización por LBS, basada en GSM, que por lo tanto implica que si hay una conexión a esta red.

El dispositivo también permite que se le haga una llamada para obtener la posición del mismo mediante un SMS con un enlace a Google Maps.

4.5.1.2 Configuración del dispositivo.

La configuración del dispositivo es muy sencilla, lo cual es importante, ya que facilita la gestión de los mismos. Basta con abrir la carcasa e introducir la tarjeta SIM, sin código PIN. Esta debe, evidentemente, tener un contrato con una compañía de telefonía que permita enviar mensajes de texto, en definitiva que le permita conectarse a la red GSM.

COMANDO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
<code>sms123456</code>	Activa el modo SMS, la recepción de la información es vía GSM.	-
<code>smslink123456</code>	Proporciona un link a Google Maps con la posición del localizador	-
<code>admin123456 phone_number</code>	Configura el dispositivo con el número que va a recibir los mensajes automáticos.	<code>admin123456 612467257</code>
<code>noadmin123456 phone_number</code>	Cancela el número de administrador.	<code>noadmin123456 612467257</code>
<code>speed123456 ***</code>	Activa la alarma por exceso de velocidad. La velocidad mínima configurable es de 60km/h.	<code>speed123456 090</code> (Límite de 90km/h)
<code>nospeed123456</code>	Cancela la alarma por exceso de velocidad.	-
<code>move123456</code>	Activa la alarma de movimiento. Esta solo se activa a partir de un círculo de 200 metros de radio. Solo con GPS.	-
<code>nomove123456</code>	Cancela la alarma de movimiento.	-
<code>fix***s***n123456</code>	Configura el dispositivo para enviar la posición cada *** segundos y *** número de veces.	<code>fix030s20n123460</code> (Cada 30s, 20 veces)
<code>time zone123456 * **</code>	Configura el dispositivo en una nueva zona horaria respecto a la de Greenwich. * es un número de ±(1 a 12) y ** es para marcar las medias horas.	<code>time zone123461 -2 30</code> (Resta 2 horas y media a Greenwich)
<code>reset123456</code>	Restaura los parámetros de fábrica del dispositivo.	-
<code>password123456 *****</code>	Cambia la contraseña. Ha de ser un número de 6 dígitos.	<code>password123463 888888</code>
<code>cut123456</code>	Apaga la inyección de gasolina. Esto es posible si el vehículo se mueve a menos de 20km/h. No se reactiva hasta que no se envíe el comando de restablecimiento.	-
<code>resume123456</code>	Restablece la inyección de gasolina.	-
<code>ACC123456</code>	Permite recibir una alarma de cuando el motor se enciende o apaga.	-
<code>noacc123456</code>	Cancela la alarma de aviso de encendido/apagado.	-
<code>imei123456</code>	Permite conocer el IMEI del dispositivo.	-
<code>reboot123456</code>	Reinicia el dispositivo. Tras 20 segundos, el dispositivo acometerá la orden.	-
<code>gprs123456</code>	Activa el modo GPRS.	-
<code>APN123456 APN_name</code>	Cambia el punto de acceso a la red GSM. Es función de la compañía elegida.	<code>APN123456 movistar.es</code>
<code>adminip123456 web_direction port</code>	Cambia la dirección IP a la que se envían los datos GPRS.	<code>adminip123456 www.buscaman.com 6236</code>

Tabla 3: Comandos XCSOURCE AH2017. Elaboración Propia.

Por defecto:

- . Modo GPRS activo.
- . Londres (Greenwich, GTM 0), como zona horaria. Una hora menos que en España.
- . La contraseña es 123456.
- . Alarma por apagado o corte de energía, activa.
- . En seguimiento, envía la posición cada 10 segundos.

La (Tabla 3) muestra la lista de comandos que permiten configurar el dispositivo para determinadas tareas. El envío de estas órdenes se hace vía SMS, donde el destinatario es la tarjeta SIM que está instalada en el localizador.

El dispositivo ha de ser configurado para que envíe la información prioritaria a un número de teléfono, este administrará todos los avisos oportunos. Cuando el motor se encienda, por ejemplo, enviará el aviso al número configurado. Esta configuración se puede hacer mediante comando o mediante una llamada a la tarjeta SIM del dispositivo.

El GPS dispone de simultaneidad entre GSM y GPRS, con lo cual puede enviar la posición a una plataforma web y distintas alarmas a un móvil preconfigurado.

4.5.1.3 Fase de pruebas.

Para probar el dispositivo, se tuvo que hacer una instalación en un coche, ya que no se disponían de motocicletas en ese momento, pero para evitar tener que conectarlo directamente al motor, se preparó un conector macho al mechero del coche. Esta toma de corriente es de 12 voltios, por lo tanto es ideal para que el dispositivo funcione correctamente.

Esta instalación consistió en la compra de un adaptador USB al mechero del coche, del cual se desechó la circuitería propia del USB, conservamos la estructura del conector y averiguamos la polaridad de las clavijas del conector para después soldar en ellas los cables del dispositivo GPS.

Una vez el dispositivo funcionaba correctamente dentro del coche, se hicieron pruebas de tracking o seguimiento en la ciudad. Esta prueba se hizo durante varios días, en distintas situaciones y los resultados fueron favorables. Las medidas que se tomaron fueron correctas y el camino decodificado fue preciso. Durante estas pruebas se testearon comandos como los de configuración del tiempo entre envíos y el número de envíos, los cuales proporcionaron buenos resultados.

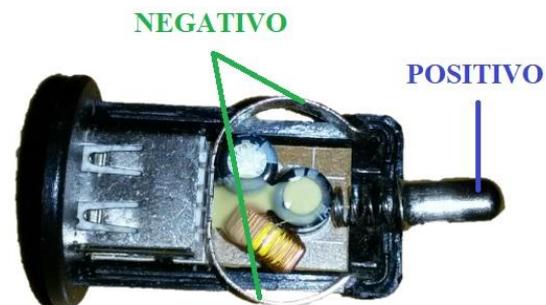
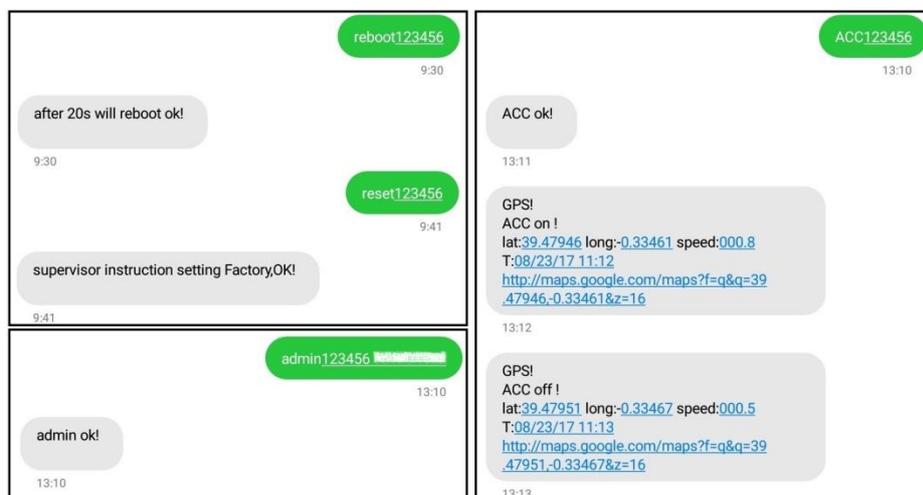


Figura 44: Conector Mechero. Elaboración Propia.

Figura 45: Test comandos. Elaboración Propia.



En la imagen anterior se muestra la respuesta a los comandos que proporciona el dispositivo. Todos los mensajes son contestados prácticamente al instante. Estas pruebas se hicieron en un laboratorio haciendo uso de una fuente de alimentación puesta a 12 voltios y con un voltímetro configurado para medir altas impedancias o cortocircuitos. De esta forma, se puede comprobar cuando el dispositivo cambia su forma de actuar al recibir dichos comandos.

4.5.1.4 Conexión con la plataforma.

Para poder integrar el dispositivo en la plataforma se deben cumplir varias características.

- **Conexión a la red GPRS.** Esto es básico, ya que se necesita que la información viaje en forma de paquete de datos a una determinada dirección IP.
- **Configuración de APN y host.** Para poder enviar a otro dominio no preestablecido por el fabricante, se debe poder configurar un punto de acceso a la red GSM/GPRS, es decir, configurar el APN y luego poder cambiar la dirección a la que se envía dicha información.
- **Conocer el protocolo de decodificación.** Cada dispositivo hace uso de un protocolo distinto de codificación, con lo cual, si no se conoce dicha información se hace muy difícil descifrar las tramas que se reciben.
- **Integrar todo adecuadamente en el servidor.** El servidor, no es más que un ordenador que está preparado para recibir información, gestionarla y almacenarla adecuadamente. Cualquier servidor posee una herramienta llamada cortafuegos *Firewall* que permite filtrar la información que llega al ordenador. Cada aplicación hace uso de un puerto determinado para poder establecer una conexión con el servidor, el *Firewall*, es el encargado de gestionar o saber que puertos tienen permitidos establecer conexión o no. Un aspecto básico de la integración de los dispositivos es conocer qué puertos pueden usarse y permitir el acceso de la información que proporciona el localizador GPS, por otro lado debe configurarse el dispositivo para que envíe dicha información al servidor y que acceda por el puerto correcto.

El análisis del dispositivo confirma que puede hacer uso de la red GPRS, por lo tanto este requisito se cumple. La imagen siguiente muestra como se ha de configurar el XCSOURCE para poder cambiar el APN y el host.

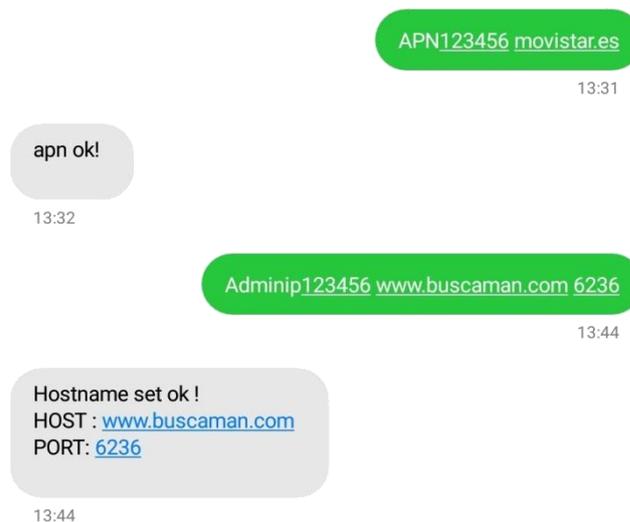


Figura 46: Cambio APN y Host.
Elaboración Propia.

En nuestro caso, se hizo uso de una tarjeta de MOVISTAR por lo tanto el APN a configurar es el de movistar.es. El siguiente paso es establecer la nueva dirección de envío, que se debía hacer a www.buscaman.com y al puerto 6236. La imagen de la derecha muestra los comandos que hay que usar para esta tarea.

Para conocer el protocolo de decodificación que usa este GPS se recurrió a una página cuyos usuarios se dedican a listar los dispositivos GPS y sus protocolos de decodificación. Esta página es www.traccar.org/protocols .

Por último, se debe asegurar que el servidor puede recibir la información del GPS, como hemos visto, se hace gestionando las conexiones permitidas en el *Firewall*.

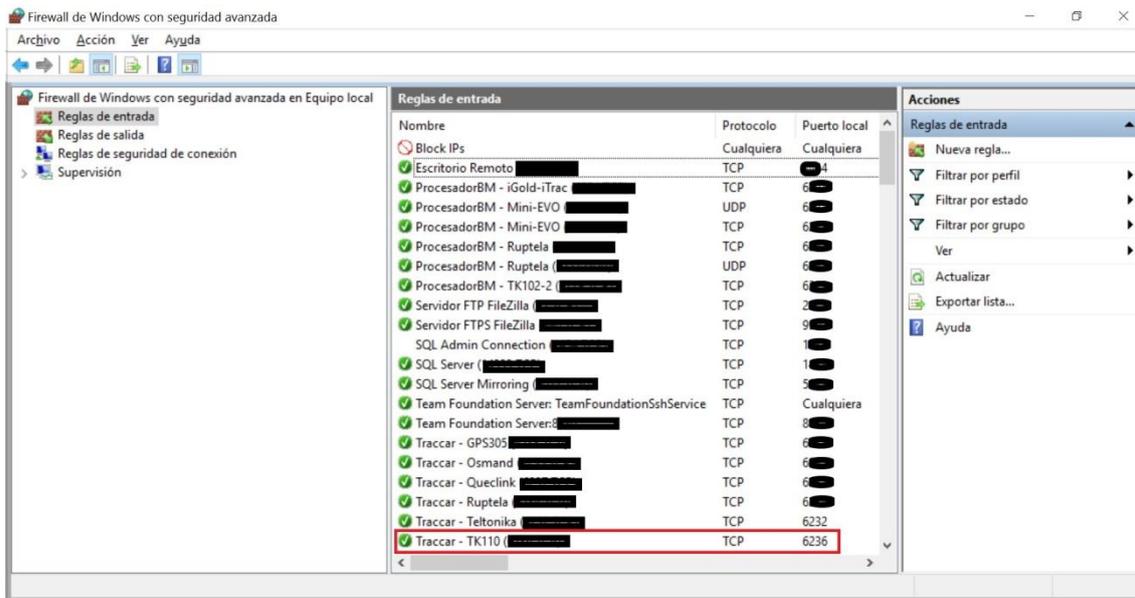


Figura 47: Firewall Buscaman.

Fuente: Grupo Buscalia.

Por último, toda esta información debe decodificarse directamente en una aplicación especialmente desarrollada para atender a este puerto y entender la información que recibe. Esta decodificación consta de averiguar a quien pertenece la información recibida, es decir el IMEI del dispositivo y desglosar los datos que convengan. En nuestro caso, es el software de Buscaman, el encargado de mostrar la información en el mapa y de otras muchas funcionalidades.

4.5.2 GL300

4.5.2.1 Especificaciones y Circuitería Básica.

Por otro lado tenemos este dispositivo con batería incorporada, cuyas dimensiones son 68.5x38.5x23.5 milímetros y su peso es de 60 gramos. Su pequeño tamaño y la alimentación con batería posibilitan esconderlo en cualquier parte del vehículo siempre y cuando la señal de GPS y GSM no se vea afectada.

La batería es de litio de 1300mAh y de 3.5 a 4.5 voltios, en las especificaciones indican que en *stand by* o modo *sleep* puede aguantar unas 400 horas y si vamos aumentando el número de envíos, en consecuencia disminuye la duración de la batería. Si se utiliza un periodo de 5 minutos, puede llegar a 140 horas y 180 si se extiende hasta 10 minutos. Teniendo en cuenta que el mínimo de horas que se debería tener es de 24, supera con creces esta limitación.

Puede trabajar en un rango de temperaturas que va desde los -20° a los 55° C. Como se podría alejar del motor, esta característica es más que suficiente.

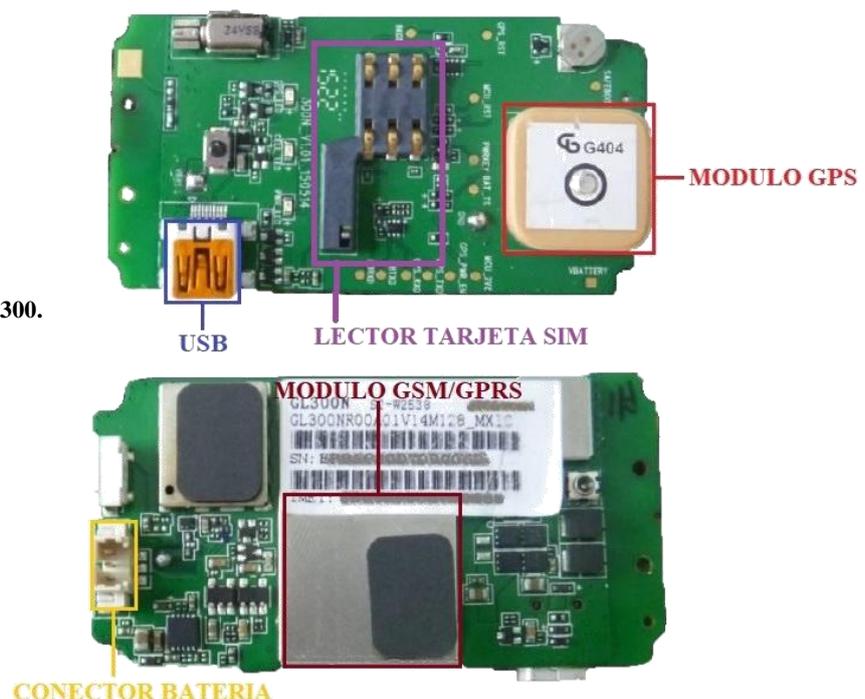
Es un dispositivo que puede operar con las cuatro bandas operativas en GSM, además también es compatible con GSM fase 2/2+. También soporta la conexión con GPRS. La potencia máxima para GSM850 y GSM900 es de 33dBm \pm 2 dBm y para DCS y PCS es de 30dBm \pm 2 dBm. Soporta un rango dinámico en potencia de -15dBm a 108dBm, con una sensibilidad de -107dBm. Todos estos datos indican que está completamente preparado para recibir y enviar señales de muy baja potencia, esto es muy útil si estamos en un entorno cambiante y potencialmente lleno de interferencias.

En cuanto al sistema GNSS, podemos decir que usa GPS además de GLONASS. Este receptor es de 72 canales, con una sensibilidad de -147dBm cuando trabaja con normalidad y aumenta cuando estamos en *hot start* y otros modos, como los de rastreo o readquisición. En la descripción indican que el tiempo de conexión con el cielo despejado es para *cold start* de 30 segundos, para *warm start* de unos 28 segundos, pero para *hot start* es de tan solo 1 segundo.

Admite todo tipo de protocolos de comunicación, TCP, UDP y evidentemente GSM mediante SMS, lo cual ayuda mucho en la gestión de los dispositivos.

Como puede observarse, muchos de los aspectos anteriormente nombrados pueden comprobarse abriendo el dispositivo.

Figura 48: Circuitería GL300.
Elaboración Propia.



También hay que añadir que mediante USB se pueden ampliar las capacidades del mismo, el cable se presenta en la siguiente imagen junto con una tabla que describe sus características.

COLOR	Descripción
Rojo	Entrada alimentación externa (5V).
Negro	Tierra.
Azul	Entrada batería externa (3,4 - 4,2V).
Blanco	Detector de arranque.
Verde	Entrada de negative trigger.
Amarillo	Salida de negative trigger.



Tabla 4: Código de colores GL300. Elaboración Propia.

Figura 49: Cable externo. Elaboración Propia.

Como puede observarse en la (Tabla 4), se puede acoplar al dispositivo una batería externa que amplíe el tiempo entre cargas. Permite detección de arranque del motor, si lo hubiese, así como dos entradas adicionales para otros propósitos.

El dispositivo permite la transmisión de cierta información a través de 3 leds que tiene en la carcasa. Estos poseen una codificación para transmitir esta información, la cual se presenta en la siguiente tabla.

LED	Descripción.	Tipo de luz
GSM	Buscando red. Red registrada. Apagado. PIN de tarjeta activo. Ha recibido un comando correcto.	Flash rápido Flash lento Apagado Permanente Encendido por 3 segundos
GPS	GPS localizado. Buscando GPS's. Datos de GPS erróneos. GPS Apagado.	Permanente Flash rápido Flash lento Apagado
POWER	Alimentación encendida con normalidad. Cargador conectado con la batería ya cargada. Batería cargando. Se ha pulsado el botón de encendido y se prepara para apagarse. Anormal. Alerta de batería baja. Apagado o luz apagada por comando.	Apagado Permanente Flash rápido Flash rápido Flash rápido Flash lento Apagado

Tabla 5: Código de leds. GL300. Elaboración Propia.

Existen comandos y formas de configurar el dispositivo que permite el apagado de las luces para incrementar la discreción del aparato. Junto con su reducido tamaño posibilitan esconderlo fácilmente.

4.5.2.2 Configuración del dispositivo.

La configuración de este dispositivo es sumamente intuitiva, ya que la forma del comando es muy similar entre ellos. Siempre se construye de esta forma y en raras ocasiones se modifica.

<contraseña> nombre_del_comando <parámetros adicionales>

COMANDO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
<password> start period report <period><unit> <times>	Activa el seguimiento periódico.	gl300 start period report 30sec 5
<password> stop period report	Desactiva el seguimiento periódico.	-
<password> start motion alert	Activa la alerta por movimiento.	-
<password> stop motion alert	Desactiva la alerta por movimiento.	-
<password> set geo<id> local <radius>	Activa la alerta por zona. Esta zona suele ser un círculo que avisa de cuando se entra y sale de él.	gl300 set geo1 local 1000
<password> stop geo<id>	Desactiva una alerta por zona concreta.	gl300 set geo1
<password> start onoff alert	Activa la alarma de encendido/apagado del dispositivo.	-
<password> stop onoff alert	Desactiva la alarma de encendido/apagado del dispositivo.	-
<password> start speed alert <speed><unit><send interval>	Activa la alarma por velocidad superada.	gl300 start speed alert 120km/h 10
<password> stop speed alert	Desactiva la alarma de velocidad superada.	-
<password> start ignition alert	Activa la alarma de encendido/apagado del motor.	-
<password> stop ignition alert	Desactiva la alarma de encendido/apagado del motor.	-
<password> get position	Hace la petición de la localización del dispositivo.	-
<password> restart	Reinicia el dispositivo.	-
<password> password <new password>	Cambia la contraseña por defecto del dispositivo.	gl300 password contraseña
<password> name <device name>	Cambia el nombre por defecto del dispositivo.	gl300 name nombre
<password> restore	Restaura la configuración de fábrica del dispositivo.	-
<password> get imei	Petición para conocer el IMEI del dispositivo.	-
<password> add admin <phone number>	Añade un nuevo número a la lista de administradores.	gl300 add admin 6*****
<password> del admin <phone number>	Elimina un número a la lista de administradores.	gl300 del admin 6*****
<password> get ignition	Petición para conocer el estado del motor, apagado o encendido.	-

Tabla 6: Comandos GL300. Elaboración Propia.

Por defecto:

- . Modo GPRS activo.
- . La contraseña es gl300.
- . Estos parámetros tienen valores o unidades por defecto.
 - ’ *period*, tiene un rango posible de 5 a 86400 segundos.
 - ’ *unit*, está en segundos (sec) pero también puede presentarse en minutos (min) y horas (hou).
 - ’ *radius*, define el radio de una zona circular, por defecto con 200 metros.
 - ’ *times*, la cantidad de veces que sucede un evento, situándolo en 0, hace que este sea indefinido y por lo tanto dure hasta nueva orden.
 - ’ *id*, hace referencia a una zona en concreto, previamente diseñada.
 - ’ *send interval*, de nuevo, por defecto 0, indefinido o con el intervalo de 5 a 3600 segundos.
 - ’ *speed*, define la velocidad, está en km/h, aunque puede modificarse m/s.

Los manuales de instrucciones de este dispositivo están disponibles online y junto con ellos, proponen la descarga de un programa que permite hacer de un ordenador común un servidor capaz de recibir toda la información que transmite el GPS. No obstante también ofrecen manuales para entender cómo funciona el protocolo de codificación que usa este localizador.

Este dispositivo, posee simultaneidad de GPRS y GSM, lo cual permite que se avisos básicos se envíen a un dispositivo concreto además de que pueda existir un seguimiento continuado en un servidor.

4.5.2.3 Fase de pruebas.

Esta fase, ha sido mucho más sencilla que la del anterior dispositivo, ya que no ha implicado una instalación previa. Simplemente con el dispositivo cargado, se puede tener autonomía durante varios días.

Una de las pruebas que se hizo, fue la de tener el dispositivo enviando la posición hasta que se acabara la batería. Los resultados fueron satisfactorios ya que la batería duró aproximadamente lo que en las especificaciones venía escrito. También se hicieron pruebas en modo *sleep* lo cual permite ver cuánto aguanta la batería sin enviar ningún tipo de información, solo recibiendo la señal del GPS.

Se testearon también la mayoría de los comandos que posee este dispositivo y también los resultados fueron exitosos. Proporciona una posición muy aproximada, con muy poco error, de unos pocos metros de diferencia, lo cual para localizar el dispositivo en una calle en particular es totalmente factible.

4.5.2.4 Conexión con la plataforma

La conexión con la plataforma es exactamente igual que con el dispositivo anterior, lo único que cambia es el protocolo de decodificación. En la página web del dispositivo se puede encontrar un manual del protocolo, para conocer sus particularidades y poder decodificar la información correctamente.

La configuración del dispositivo se debe hacer desde un ordenador, conectando el dispositivo a este, no se hace mediante comandos SMS. El software ofrece una interfaz de configuración muy amable que permite la configuración de este parámetro además de muchos otros. Esto, sin duda, facilita enormemente la gestión a gran escala del dispositivo.

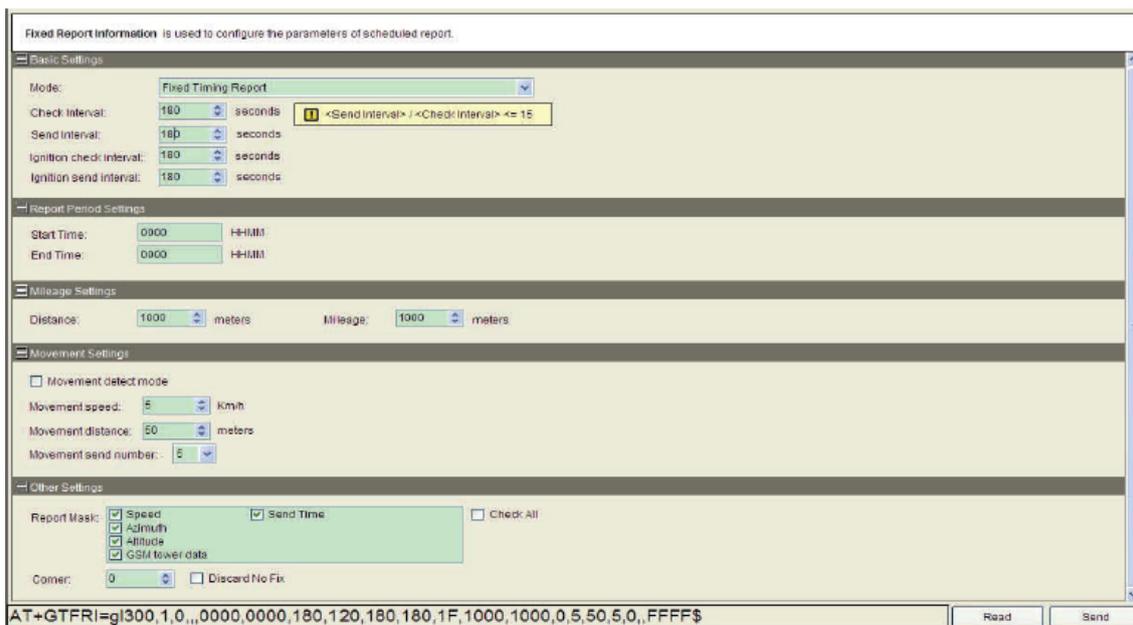


Figura 50: Interfaz para usuario GL300. Elaboración Propia.

Una vez hecha esta puesta a punto, lo que resta es agregarlo a las excepciones del *firewall* y decodificarlo como cualquier otro, ya que esto no depende del dispositivo.

4.6 Toma de Decisiones. Elección.

La decisión se tomó en una reunión, en la que se expusieron todos los resultados obtenidos, como resumen a todas los análisis y conceptos desarrollados, se construyó una presentación que mostraba los pros y los contras de cada dispositivo. En esta se debatió ampliamente la funcionalidad y capacidades de cada uno teniendo en cuenta los posibles modelos de negocio.

Se puso de manifiesto la necesidad de que el dispositivo fuera autosuficiente energéticamente ya que de este modo la única instalación requerida sería la de situarlo en el lugar apropiado y cuyo mantenimiento solo fuera el recargar la batería, cuando esto fuera oportuno. Se estableció un precio que debía ser competitivo o al menos mucho menor que el coste inicial del vehículo.

Por lo tanto, acabó por elegirse el GL300, un localizador sumamente versátil, pero también el más caro de todos los revisados.

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras.

Como principal conclusión debemos decir que se ha alcanzado el objetivo inicial propuesto. Se han analizado diversos dispositivos de localización de bajo coste y tras realizar un estudio pormenorizado e integrarlos en la plataforma software de la empresa se ha llegado a la mejor solución posible, la cual se ha convertido en un nuevo negocio en la empresa.

Esto ha permitido realizar un proyecto real en una empresa viendo todas las fases y actividades de la gestión, que esto requiere. Otro elemento a destacar es el trabajo en equipo y la posibilidad ver como evoluciona un mercado y como los proyectos cada vez se personalizan más dependiendo de cada cliente final.

Se ha preparado un modelo de negocio nuevo que, dadas las nuevas tendencias en cuanto a salud se refiere, parece ser exitoso. Estas promueven un menor uso del propio automóvil y más el de transportes como la bicicleta o pequeños vehículos eléctricos.

Por otro lado, el futuro de la localización GPS es prometedora ya que se ha planteado la actualización y mejora de los satélites que en este momento de están en órbita. Esto va a desembocar en la mayor precisión de las medidas y por lo tanto en una mejor calidad a la hora de situar a un usuario en un mapa, además intenta solventar la limitación que tiene el sistema para la localización y seguimiento en interiores.

No obstante, para intentar esquivar estas limitaciones, se están desarrollando cada vez más las tecnologías basadas en triangulación, trilateralidad y *time of arrival* en sistemas de comunicaciones como *WI-FI* y *Bluetooth*.

Capítulo 6. Anexos

6.1 Listados.

6.1.1 Figuras

- Figura 1: Estrella Polar.	4
- Figura 2: Cruz del Sur.	4
- Figura 3: Rosa de los Vientos.	4
- Figura 4: Brújula.	5
- Figura 5: Primera Rosa de los Vientos.....	5
- Figura 6: Un ejemplo de cartografía portulana.	5
- Figura 7: Dibujo de un astrolabio.....	6
- Figura 8: Dibujo del cuadrante de Davis.....	6
- Figura 9: Dibujo de un sextante.	6
- Figura 10: Dibujo de un cronómetro antiguo.	7
- Figura 11: Portada del extracto de un almanaque náutico.....	7
- Figura 12: Cobertura del sistema LORAN – C.....	9
- Figura 13: Receptor del sistema LORAN – C.....	9
- Figura 14: Ejemplo de una trayectoria hiperbólica.	10
- Figura 15: Ejemplo de una trayectoria hiperbólica.	10
- Figura 16: Modelo de órbita Geo.	12
- Figura 17: Leyes de Kepler.	13
- Figura 18: Trilateracion 2D.....	16
- Figura 19: Trilateracion 3D.	17

- Figura 20: Triángulo Esférico.	17
- Figura 21: Ángulo Ψ	17
- Figura 22: Huella del satélite.	18
- Figura 23: Separación angular.	18
- Figura 24: Segmento de Control.	20
- Figura 25: Señales L_1 y L_2	23
- Figura 26: Estructura de la trama. (Datos de Navegación).	24
- Figura 27: Diagrama de un Receptor Genérico.	25
- Figura 28: Error GDOP.	27
- Figura 29: Tipos de Errores.	28
- Figura 30: Posicionamiento Bluetooth.	29
- Figura 31: Localización en Interiores.	31
- Figura 32: Jerarquía GSM.	32
- Figura 33: Arquitectura GSM.	33
- Figura 34: Infraestructura Grupo BUSCALIA.	36
- Figura 35: Preselección de dispositivos.	41
- Figura 36: XCSOURCE AH207.	42
- Figura 37: TONGSHI Mini.	42
- Figura 38: GL300.	43
- Figura 39: VEHICLE TRACKER.	43
- Figura 40: CITTATREND TK102B.	44
- Figura 41: TONGSHI TK102B.	44
- Figura 42: Circuitería XCSOURCE AH207.	46
- Figura 43: Entradas adicionales.	47
- Figura 44: Conector Mechero.	49
- Figura 45: Test comandos.	49
- Figura 46: Cambio APN y Host.	50
- Figura 47: Firewall Buscaman.	51

2018

- Figura 48: Circuitería GL300..... 52
- Figura 49: Cable externo..... 53
- Figura 50: Interfaz para usuario GL300. 56

6.1.2 Fórmulas

- Ecuación 1: Pulso LORAN – C. 10
- Ecuación 2: Energía Cinética. 14
- Ecuación 3: Energía Potencial. 14
- Ecuación 4: Ley de Gravitación Universal. 14
- Ecuación 5: Parámetro Gravitacional Estándar. 14
- Ecuación 6: Ecuación Vis-Viva. 15
- Ecuación 7: Velocidad de Escape. 15
- Ecuación 8: Ley del Seno. 17
- Ecuación 9: Ley del coseno I. 17
- Ecuación 10: Ley del coseno II. 17
- Ecuación 11: Área Triángulo Esférico. 17
- Ecuación 12: Ángulo Ψ 17
- Ecuación 13: Ángulo α 18
- Ecuación 14: Número de Satélites. 18
- Ecuación 15: Separación angular. 18
- Ecuación 16: Satélites por órbita. 18
- Ecuación 17: Número de Satélites. 19
- Ecuación 18: Expresiones de $L_1(t)$ y $L_2(t)$ 23

6.1.3 Tablas

- Tabla 1: Comparativa GNSS. 19
- Tabla 2: Código de leds XCSOURCE AH207. 47
- Tabla 3: Comandos XCSOURCE AH2017. 48
- Tabla 4: Código de colores GL300. 53
- Tabla 5: Código de leds. GL300. 53
- Tabla 6: Comandos GL300. 54
- Tabla 7: Tabla Comparativa de dispositivos. 62

COMPARTATIVA DISPOSITIVOS GPS (Elaboración Propia)

		XCSOURCE AH207	Tongshi TK102B	CITTATREND TK102B	Tongshi Mini Tracker	Vehicle Tracker	GL300
							
Batería		NO	SI	SI	SI	NO	SI
Info Batería		12V-36V	3.7V-1000mAh	3.7V-1000mAh	3.7V-400mAh	12V	3.7V-1300mAh
Tipo de Carga/Alimentación		Fuente Alimentación	No USB	No USB	USB	Fuente Alimentación	USB
GSM		SI	SI	SI	SI	SI	SI
GPRS		SI	NO	SI	SI	SI	SI
GPS		SI	SI	SI	NO	NO	SI
Tipo de SIM		GRANDE	GRANDE	GRANDE	GRANDE	GRANDE	GRANDE
SOS		NO	SI	SI	SI	NO	NO
Llamadas		NO	NO	NO	SI	NO	NO
Numero entradas		4	-	-	-	2	4
Entradas / Salidas	Encendido	SI	-	-	-	SI	SI
	Aceite	SI	-	-	-	SI	SI
	Micrófono	SI	Incorporado	Incorporado	-	NO	NO
Tipo de entradas Analógico / Digital		Digital	-	-	-	Digital	Digital
Alarmas	Encendido	SI	NO	NO	-	-	-
	OverSpeed	SI	NO	NO	-	-	-
	Movimiento	SI	SI	SI	-	-	-
	Zona	SI	SI	SI	-	-	SI
Aplicación		SI	NO	NO	SI	SI	NO
Web Integrada		SI	NO	NO	SI	SI	NO
Envío a otro dominio		SI	NO	SI	NO	SI	SI
Localización LBS		SI	SI	SI	SI	SI	SI
Memoria Integrada		NO	SI (SD)	SI (SD)	NO	NO	SI
Sleep Mode		NO	NO	SI	SI	NO	SI
Facilidad Instalación		Requiere instalación	Batería	Batería	Batería	Requiere instalación	Batería
Protocolo		TCP	Ambos	Ambos	-	-	Ambos
Protocolo decodificación		gt06	gps103	gps103	-	-	@track
Cambio de Protocolo (TCP / UDP)		NO	SI	SI	-	-	SI
Simultaneidad SMS y GPRS		SI	NO	SI	-	-	SI
Precio		20,00 €	16,00 €	30,00 €	12,00 €	13,00 €	50,00 €
Web de Compra		https://www.amazon.es/XCSOURCE-Localizador-Seguimiento-Motocicleta	https://www.amazon.es/Profesional-veh%C3%ADculo-Tracker-inteligente	https://www.amazon.es/CITTATREND-Localizador-Tracker-Seguidor	https://www.amazon.es/Tongshi-seguimiento-veh%C3%ADculo-dispositivo	https://www.amazon.es/lovelifeast-dispositivo-seguimiento-localizador	https://www.amazon.com/Queclink-GL300-Tracker-Orbital

Capítulo 7. Bibliografía

- [1] J. L. Álvarez Pérez, «Introducción a los Sistemas de Navegación por Satélite,» [En línea]. Available: <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/inicio.htm>. [Último acceso: 2018].
- [2] H. J. Oberth, «NASA,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/rocketry/home/hermann-oberth.html>.
- [3] A. C. Clarke, «Extra-Terrestrial Relays. Can Rocket Stations Give World-Wide Radio Coverage?,» *Wireless World*, vol. II, n° 10, p. 4, October 1945.
- [4] S. Cogollos Borrás y A. Vidal Pantaleoni, «Conceptos Básicos,» de *Comunicaciones Espaciales*, Valencia, ETSIT, Universitat Politècnica De València, 2016.
- [5] D. o. P. a. Astronomy, «HyperPhysics,» GeorgiaState University, [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>.
- [6] D. S. Cogollos Borrás, «Fundamentos de Órbitas,» de *Comunicaciones Espaciales*, Valencia, ETSIT, Universitat Politècnica De València, 2016.
- [7] E. Huerta, A. Mangiaterra y G. Noguera, GPS. Posicionamiento Satelital., UNR EDITORA, 2005.
- [8] A. Leick, L. Rapoport y D. Tatarnikov, GPS Satellite Surveying, New Jersey: WILEY.
- [9] G. NAVSTAR, «GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE SIGNAL SPECIFICATION,» 1995.
- [10] «GeoEnciclopedia,» WordPress, [En línea]. Available: <http://www.geoenciclopedia.com/capas-de-la-atmosfera/>. [Último acceso: Mayo 2018].
- [11] J. Rodas, T. M. Fernandez, D. I. Iglesia y C. J. Escudero, *Sistema de Posicionamiento Basado en Bluetooth*, La Coruña, Galicia: Facultad de Informática. Universidad de La Coruña., 2006.
- [12] N. Cardona, «Sistemas GSM, GPRS y EDGE.,» de *Telefonía Móvil Digital.*, Valencia., Universitat Politècnica De València..
- [13] B. M. S.L., «Grupo Buscalia,» [En línea]. Available: <https://www.buscalia.com/>. [Último acceso: 2018].
- [14] L. Essen y J. V.L. Parry, «An Atomic Standard of Frequency and Time Interval: A Cesium Resonator,» *Nature*, vol. 176, n° 4476, pp. 280-282, 1955.