



Universidad  
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Revisión Bibliográfica del uso de Sistemas Global  
de Navegación por Satélite para medir la precisión**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Autor**

Limo Ruiz Arturo Gabriel

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2271-5387>

**Asesor**

Bances Saavedra David Enrique

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7164-8918>

**Línea de Investigación**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2024**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL USO DE SISTEMA GLOBAL DE  
NAVEGACIÓN POR SATÉLITE**

**Aprobación del jurado**

---

Mg. Heber Ivan Mejia Cabrera

**Presidente del Jurado**

---

Mg. Carlos William Atalaya Urrutia

**Secretario del Jurado**

---

Mg. Juan Carlos Arcila Diaz

**Vocal del Jurado**



Universidad  
Señor de Sipán

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy estudiante (s) del Programa de Estudios de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

### ANALISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS GLOBAL DE NAVEGACION POR SATELITE PARA MEDIR LA PRECISION

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Limo Ruiz Arturo Gabriel	DNI: 16658495	
--------------------------	---------------	---

Pimentel, 28 de marzo del 2024.

## **Dedicatoria**

Dirigido este trabajo a mis padres, hermanos e hijos que siempre confiaron en mí, me apoyaron en todos los momentos de mi vida, siempre dándome ejemplo de perseverancia y superación sin importar el tiempo que conlleve a lograr el objetivo muchas gracias.

También una dedicatoria especial a mis docentes, por todas las enseñanzas recibidas durante toda la carrera universitaria.

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios por permitirnos haber logrado una importante meta más en nuestra vida, dándonos constancias, sabiduría y fortaleza para culminar este trabajo de titulación.

A la Universidad Señor de Sipán y a los docentes de la Carrera Ingeniería de Sistemas, quienes supieron impartir los conocimientos necesarios para nuestra formación ética y académica. De igual manera a nuestros compañeros de estudios con los que compartimos experiencias por ser un soporte y refuerzo a lo largo de nuestra vida estudiantil.

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iv</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1. Realidad Problemática</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2. Formulación del Problema</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3. Hipótesis</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4. Objetivos</b> .....	<b>20</b>
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivo Especifico.....	20
<b>1.5. Teorías relacionadas al tema</b> .....	<b>21</b>
1.5.1.1. NAVSTAR – GPS.....	21
1.5.1.2. GLONASS.....	32
1.5.1.3. GALILEO.....	33
1.5.1.4. BEIDOU.....	33
1.5.1.5. QZSS.....	33
1.5.1.6. IRNSS.....	34
1.5.1.7. Técnicas de Sistemas Global de Navegación por Satélite.....	34
<b>II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>45</b>
<b>2.1. Método de Investigación</b> .....	<b>45</b>
<b>2.2. Plan de investigación</b> .....	<b>51</b>
2.2.1. Interrogantes de la Investigación.....	51
2.2.2. Protocolo de revisión.....	51
2.2.3. Validación del Protocolo de revisión.....	51

<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>V. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VI. REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Componentes del GPS.....	22
Figura 2: Diagrama del Sistema de Posicionamiento Global NAVSTAR.....	23
Figura 3: Datos de Control en el Sistema GPS .....	26
Figura 4: Primera medición coloca el receptor en algún lugar de la esfera.....	27
Figura 5: Segunda medición de un segundo satélite proporciona que el receptor está en algún lugar de este círculo.....	28
Figura 6: Tercera medición de otro satélite coloca el receptor en uno de los dos puntos donde las tres esferas se cruzan.....	28
Figura 7: Código pseudoaleatorio .....	29
Figura 8: GPS Diferencial.....	35
Figura 9: Diagrama Básico de bloques Kalman Filter .....	37
Figura 10: Diagrama de Flujo del Algoritmo de Posicionamiento de Punto Preciso (PPP).....	41
Figura 11: Obtención de distancia / tiempo entre satélite y receptor.....	44
Figura 12: Arquitectura NTRIP .....	44
Figura 13: Método de Investigación. ....	45
Figura 14: Búsqueda inicial en la base de datos IEEE Xplore .....	46
Figura 15: Búsqueda inicial en la base de datos SienceDirect.....	47
Figura 16: Búsqueda inicial en la base de datos SciELO .....	47
Figura 17: Búsqueda inicial en la base de datos Scopus .....	48
Figura 18: Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos IEEE Xplore.....	48
Figura 19: Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos SienceDirect .....	49
Figura 20: Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos SciELO .....	49
Figura 21: Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos Scopus.....	50
Figura 22: Cantidad de artículos por año .....	53

Figura 23: Cantidad de Sistemas Global de Navegación por Satélite y Técnicas que son utilizados por autores.....	56
Figura 24: Frecuencia de utilización de tipos .....	57

## Índice de Tablas

Tabla 1: Características del GPS .....	21
Tabla 2: Resultado de la búsqueda de artículos .....	52
Tabla 3: Tipos que son utilizados por autores .....	54
Tabla 4: Tipos de sistemas globales de navegación por satélite con mayor frecuencia.....	57
Tabla 5: Problemas abordados por artículos.....	58

## Resumen

La ubicación de un objeto en la tierra, ha tenido varias investigaciones, hasta los nuevos sistemas autónomos que, teniendo un micro-dispositivo con diferentes sensores, ubican en segundos la posición actual en la tierra. El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), utiliza satélites para ubicar un receptor en la tierra basado en técnicas de triangulación y medición de retardo de la señal. Actualmente existen muchos receptores de bajo costo que utiliza la tecnología NAVSTAR-GPS, no cuentan con una precisión suficiente debido al error de la ionosfera y otros, por lo que se crean técnicas en tiempo real para incrementar la precisión posicional con receptores GNSS.

Esta revisión se basa en la ionosfera que es la capa ionizable de la atmósfera, donde no son procesos físicos y químicos que resultan en ionización y neutralización, son átomos que interactúan con el campo magnético terrestre y generan regiones con concentración variable de electrones.

Se revisó, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con operaciones que calculan las coordenadas y velocidades de satélites, así como pseudorangos y rangos delta entre usuario y todos los satélites GPS rastreados.

Esta revisión tiene como fin recopilar los documentos de los Sistemas Global de Navegación por Satélite, de tal manera que nos facilitara la reducción de errores en la definición, diferentes tipos de técnicas, y así lograr una precisión más exacta de localización.

**Palabras claves:** GNSS, NAVSTAR-GPS, GLONASS, RECEPTORES GPS.

## **Abstract**

The location of an object on earth has had several investigations, including new autonomous systems that, having a microdevice with different sensors, locate the current position on earth in seconds. The Global Navigation Satellite System (GNSS) uses satellites to locate a receiver on the ground based on triangulation techniques and signal delay measurement. Currently there are many low-cost receivers that use NAVSTAR-GPS technology, they do not have sufficient precision due to the Ionosphere error and others, so real-time techniques are created to increase positional precision with GNSS receivers.

This review is based on the ionosphere, which is the ionizable layer of the atmosphere, where there are physical and chemical processes that result in ionization and neutralization, they are atoms that interact with the Earth's magnetic field and generate regions with variable electron concentrations.

The Global Positioning System (GPS) was reviewed, with operations that calculate satellite coordinates and velocities, as well as pseudoranges and delta ranges between the user and all tracked GPS satellites.

The purpose of this review is to compile the documents of the Global Navigation Satellite Systems, in such a way that it will facilitate the reduction of errors in the definition, different types of techniques, and thus achieve a more exact location precision.

**Keywords:** GNSS, NAVSTAR-GPS, GPS RECEIVERS, PSEUDORANGES.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Los autores [1], en la investigación “Robust GPS/Galileo/GLONASS Data Fusion Using Extended Kalman Filter”, desarrollada en 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), el 2020; el dilema es la falla múltiple con las señales de los satélites lo cual impacta. Se propuso proporcionar un filtro de Kalman extendido robusto (robusto-EKF), este filtro es un algoritmo de estimación que realiza un análisis estadístico de los datos de prueba para detectar y eliminar los datos de medición atípicos para una estimación con más precisión en la posición del receptor. Al final se obtuvo la aplicación del método robusto-EKF, así como la combinación sólida de datos GPS, Galileo y GLONASS, mejora la precisión de la posición en aproximadamente un 30,0 %, 20,7 % y 90 % en comparación con el uso de datos GPS únicamente, solo datos Galileo y GLONASS. Solo datos, respectivamente, y en aproximadamente un 67% en comparación con la combinación no sólida de datos GPS, Galileo y GLONASS.

Los autores [2], en la investigación “Universal ranging code generator of GLONASS and GPS open navigation signals”, desarrollada en International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), el 2020; la dificultad son las señales GNSS se modulan mediante varios códigos de alcance por lo cual cualquier receptor de navegación debe generar diferentes códigos provocando pluralismo de código es decir multiplicidad de generadores y la complejidad adicional del canal receptor. Se presentó un generador de códigos de alcance universal para señales de servicio abierto GLONASS y GPS, este generador es una estructura ajustable, que puede reconfigurarse en tiempo de ejecución para cualquier tipo de señal; cubre tanto las señales heredadas como las modernizadas y se puede aplicar a otros sistemas de radio. Al final el generador permite formar secuencias para señales L1 / L2 OF, L1OCd / p, L3OCd / p GLONASS y señales C / A, L2CM / CL, L5 GPS, es decir, más del 70% de las señales abiertas.

Los autores [3], en la investigación “Interference Suppression at Cooperative Use of GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU”, desarrollada en IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), el 2020; la dificultad es relacionado con la inmunidad al ruido de los aparatos de navegación del usuario. Se tuvo un modelo de conjunto de antenas adaptativas, este modelo incluye un patrón de radiación 3D, elementos que controlan la amplitud, la fase de la señal y un sumador de señal lineal; se presenta la ecuación de adaptación que permite resolver la tarea mediante la supresión de interferencias desde la dirección dada y se analiza el proceso de supresión de interferencias utilizando datos reales recibidos por 33 satélites. Al final están relacionados con la geometría específica de la posición del satélite y la dirección de llegada de la interferencia, es imposible generalizar los resultados ante múltiples decisiones; en condiciones reales, el sistema de adaptación debe ser de alta velocidad y responder al entorno de interferencia cambiante.

Los autores [4], en la investigación “Application of Kalman Filter in GPS Position Estimation”, desarrollada en 8th Power India International Conference (PIICON), el 2018; identifico el problema de los errores que existen para determinar la posición más precisa. En dicha investigación se propuso proporcionar una mejor solución de navegación GPS directa y sus pasos son: Paso 1: Los datos del GPS se recopilan del dispositivo Garmin GPS 12 xl de mano durante 500 segundos. Paso 2: Los datos del GPS recopilados tienen el formato de archivo .kml, que se convierte en formato .gpx a través del convertidor visualizador gps, para que pueda importarse fácilmente a MATLAB para el procesamiento posterior. Paso 3: Los datos se entregan al bloque de KF para la posición, estimaciones de velocidad. Al final de la investigación se obtuvo como resultado proporcionar un posicionamiento con más precisión que el sistema GPS solo, estos pasos se pueden realizar a través de la siguiente sección: El KF que es un estimador cuadrático lineal, dado un modelo de espacio de estado dinámico.

Los autores [5], en la investigación “Performance comparison of Precise Point Positioning using real-time oriented GNSS products”, desarrollada en Argentine Conference on Electronics – CAE, el 2019; identifico el problema en los algoritmos

PPP por lo que se realizó una revisión, ordenando su importancia, modelos y efectos que se implementan en nuestros algoritmos PPP, así como la estimación del orden de magnitud de las correcciones cuando se aplican a las mediciones. En dicha investigación se propuso el enfoque de estimación de posición utilizado para los algoritmos PPP fue un Filtro Kalman Extendido (EKF), su aplicación a modelos no lineales, como modelo de mediciones descrito, y es perfectamente adecuado para aplicaciones en tiempo real. Al final de la investigación se obtuvo en el análisis se realizó con base en mediciones de estaciones terrenas fijas, las coordenadas de posición se consideran constantes durante la actualización temporal del filtro. La polarización del reloj del receptor y la corrección del retraso troposférico cenital húmedo se propagan según sus respectivos modelos de proceso.

Los autores [6], en la investigación “An applied research of improving Kalman filter in dual mode navigation”, desarrollada en el 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), el 2017; el dilema es la mejora del KF puede evitar errores de la linealización de sistemas no lineales a través de la adopción del método de transformación sin pérdidas para procesar el valor medio y la covarianza, que se denomina filtro de Kalman sin perfume (UKF). En dicha investigación se propuso la estimación M generalizada de máxima verosimilitud. Combinando con L1, L2, función de costo de construcción de dos normas, puede minimizar al mínimo la varianza de estimación asintótica máxima, mejorando la robustez del sistema. Al final de la investigación se obtuvo que debido a las incertidumbres no lineales de la ecuación de estado y la ecuación de observación, que reestructurando la información de observación a través de la Estimación M, adopta UKF para filtrar y obtener un nuevo algoritmo, que puede aplicarse a la investigación de la navegación en modo dual.

Los autores [7], en la investigación “Kalman Filter and Its Application”, en el 8th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, el 2015; identifico el problema de un algoritmo que utiliza una serie de datos observados a lo largo del tiempo, que contiene ruido y otras imprecisiones, para estimar variables desconocidas con mayor precisión y estimación óptima, tiene méritos en

tiempo real, anti-interferencia rápida, eficiente y fuerte, se aplica ampliamente en los campos de cálculo de órbita espaciales, seguimiento de objetivos y navegación de maniobra y posicionamiento de GPS. Se ofreció el filtrado de Kalman y se aplica ampliamente en los campos de cálculo de órbita espaciales, seguimiento de objetivos y navegación de maniobra y posicionamiento de GPS, Los métodos que Incluyen son: el filtro de Kalman (KF), el filtro de Kalman extendido (EKF) y el filtro de Kalman sin perfume (UKF). Al final se obtuvo que el KF es un método de estimación de estado óptimo lineal, que es una teoría de filtro bayesianas y casi todos los sistemas son sistemas no lineales en práctica; por la aplicación del filtro es limitada. El EKF se usa comúnmente en sistemas de filtro no lineales, además, el resultado del filtrado se ve afectado por el estado y el ruido de medición. El cálculo de UKF es similar al algoritmo EKF, pero el rendimiento de UKF es mejor que EKF. El uso de la estrategia de muestreo de certeza reduce la complejidad del cálculo y evita el fenómeno de divergencia cuando EKF trata de manera irrazonable un orden superior.

Los autores [8], en la investigación "Real-time averaging of position data from multiple GPS receivers", el 2016; identifico el problema que la diferencia en el precio de equipos GPS tienen muchas diferencias en el rendimiento, la más notable de las cuales es la precisión. En dicha investigación se propuso la combinación de ocho receptores GPS de menos de \$ 100 en un sistema que promedia sus datos en tiempo real. La salida del sistema tiene una sintaxis muy similar a la de los receptores GPS individuales, lo que se hizo intencionalmente, para permitir que nuestro sistema sea "intercambiable" con receptores GPS comunes y son lo suficientemente efectivos como para avanzar. Al final de la investigación se obtuvo un dispositivo independiente con la capacidad de combinar datos (promedio) de múltiples receptores GPS en tiempo real y se eliminó el procesamiento posterior de los datos del GPS, utilizando solo hardware muy económico.

Los autores [9], en la investigación "Research on Application of GNSS in Vertical Control Survey", en el Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS), el 2016, la dificultad de la precisión en la red de control vertical se utilizó

el ajuste binomial. Bajo diferentes señales portadoras de GPS-GLONASS-BEIDOU, para la referencia de producción. En dicha investigación se propuso adoptar cuatro esquemas como condiciones de ajuste que incluyen: GPS de doble banda (L1-L2), GPS de frecuencia única (L1), satélites duales (L1-B1) y tres satélites (L1-GLONASS-B1). Al final de la investigación se obtuvo que la cercanía de la banda dual de la altura de ajuste con el punto de referencia fue mejor que la banda GPS L1. Se podría concluir que la frecuencia dual GPS era más precisa que la banda única.

Los autores [10], en la investigación “Combining Multiple GPS Receivers to Enhance Relative Distance Measurements”, desarrollada en Sensors Applications Symposium Proceedings, el 2013; el inconveniente es la existencia de errores del GPS pueden ser un factor limitante en ciertas situaciones. Si bien existen sistemas GPS de precisión de nivel centimétrico, estos sistemas son típicamente 100-300 veces más caros que los receptores estándar y requieren una configuración de parámetros extensa para funcionar. En dicha investigación se propuso lograr una mejora adicional del GPS utilizando un Sistema de Aumento de Área Amplia (WAAS). WAAS es una técnica similar a DGPS pero utiliza satélites geoestacionarios para transmitir correcciones a receptores a lo largo de muchas millas. Al final de la investigación se obtuvo que las correcciones WAAS produce errores de GPS en menos de 3 metros el 95% del tiempo y es gratuito para usuarios con receptores GPS habilitados.

Los autores [11], en la investigación “BDS/GPS Dual Systems Positioning Based on the Modified SR-UKF Algorithm”, el 2016; identifico el problema de los GNSS son la base de cualquier sistema de navegación autónomo avanzado en diferentes dominios y son sistemas de detección de tiempo y posición que incluyen un conjunto de satélites para triangulación. Los sistemas de más frecuentes son GPS y GLONASS y con poca frecuencia son el Compass y el Galileo. En dicha investigación se propuso un receptor multi-GNSS puede calcular la posición, velocidad y tiempo al recibir señales de satélite emitidas desde múltiples sistemas de satélite por navegación. CDMA se usa en la comunicación digital en receptores GPS con su interoperabilidad y la compatibilidad. Al final de

la investigación se propuso el sistema creado es lineal, y el valor de la salida depende de cada entrada dada. Un KF es una buena herramienta para la fusión de sensores, donde combinamos y comparamos mediciones provenientes de diferentes tipos de sensores y es óptimo para tales sistemas lineales.

Los autores [12], en la investigación “GPS and GLONASS Static and Kinematic PPP Results”, en el año 2013; el dilema del posicionamiento preciso de puntos (PPP) nos proporciona posicionamiento de subdecímetro a centímetro precisión sin el uso de estaciones base. En dicha investigación se propuso que el posicionamiento preciso de puntos (PPP) emplee observaciones de fase portadora y pseudorange en algoritmos de procesamiento, donde se utilizan órbitas satelitales precisas e información de reloj en lugar de información de transmisión. Al final de la investigación se obtuvo que el posicionamiento preciso de puntos (PPP) tiene la ventaja de utilizar la información de envío más precisa o casi en tiempo real publicada por el Servicio del Sistema Internacional de Satélite por Navegación Global (GNSS).

Los autores [13], en la investigación “Algorithms of Position and Velocity Estimation in GPS Receivers”, el 2016; identifico el problema de falta de sincronismo de un reloj receptor de GPS de relativamente baja calidad con relojes de alta precisión instalados en satélites, tanto Pseudoranges como rangos delta contienen componentes significativos conectados con los errores de reloj. En dicha investigación se propuso estos componentes representan variables adicionales de sesgo y deriva que deben estimarse junto con la posición y la velocidad del usuario. Al final de la investigación se propuso el sesgo del reloj del receptor es común a todas las pseudodistancias observadas y la deriva del reloj es común a todos los rangos delta observados, y por lo tanto su estimación es relativamente simple. El EKF que procesa los rangos delta junto con los pseudoranges es mucho más preciso que el KF que solo procesa pseudoranges.

Los autores [14], en la investigación “GPS Single Point Positioning Algorithm Based on Least Squares”, desarrollada en la Sixth International Symposium on Computational Intelligence and Design, el 2013; identifico el problema para

obtener información de ubicación del sistema de posicionamiento GPS, generalmente adoptamos el método de medición de pseudo rango, sin embargo, la ecuación de observación no es lineal. En dicha investigación se propuso las ecuaciones de pseudo rango se pueden linealizar con una expansión en serie de Taylor en el punto aproximado. Al final de la investigación se obtuvo un estudio del algoritmo de iteración de mínimos cuadrados ponderados y simula el error de posicionamiento mediante datos GPS verdaderos.

Los autores [15] , en la investigación “Total Electronic Content Estimation using Geostatistics”, el 2015; el obstáculo son los fenómenos ionosféricos y atmosféricos, son de naturaleza caótica, son difíciles de predecir, y su estudio requiere una gran cantidad de observaciones, de diferentes instrumentos de medición. En dicha investigación se propuso que las estaciones de GPS de doble frecuencia pueden estimar TEC a lo largo del camino que conecta la estación y cada satélite de la constelación utilizado, es posible estimar el TEC vertical en ubicaciones cercanas a la estación. La interpolación es uno de estos métodos y se puede dividir en dos grupos: no estadísticos y estadísticos. Dentro de la familia de interpoladores estadísticos. El mejor estimador lineal no basado (AZUL), permite verificar la varianza del error de estimación, y así minimizarlo. Al final de la investigación se obtuvo que el uso de métodos estadísticos permite estimar valores en ubicaciones ausentes de las observaciones, para evaluar el error cometido en las interpolaciones. La estadística aplicada, especialmente la geoestadística, utiliza modelos matemáticos para representar fenómenos naturales, que varían sus propiedades según la ubicación. La geoestadística asume correlación espacial y continuidad entre muestras.

Los autores [16], en la investigación “Optimal fusion of multiple GNSS signals against spoofing sources”, el 2017; el contratiempo del principio básico del posicionamiento GNSS independiente es tomar la distancia observada entre el satélite GNSS y la antena del receptor del usuario como punto de referencia, que se basa en las coordenadas de los satélites instantáneos conocidos, para conocer la posición de la antena del receptor del usuario correspondiente. En dicha investigación se propuso el posicionamiento preciso del punto utiliza las

efemérides precisas y los datos de sesgo del reloj satelital proporcionados por el Servicio Internacional GNSS (IGS) y calcula las coordenadas precisas del usuario a partir de la fase portadora corregida y el pseudorange. Al final de la investigación se obtuvo que el algoritmo UKF es la estimación de varianza mínima basada en UT (Transformación sin perfume). La distribución del estado aquí está representada por un número de puntos elegidos apropiadamente, que es diferente de las Variables Aleatorias Gaussianas (GRV) en UKF con muestreos deterministas.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Qué Sistema Global de Navegación por Satélite ofrece un mejor resultado de precisión posicional?

## **1.3. Hipótesis**

Que Sistema Global de Navegación por Satélite brinda una mejor precisión posicional.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar una revisión del material bibliográfico sobre los Sistema Global de Navegación por Satélite, sus características y elementos para su evaluación.

### **1.4.2. Objetivo Especifico**

- a) Elaborar el plan de investigación.
- b) Desarrollar el procedimiento de investigación.
- c) Generar la documentación de la investigación.

## 1.5. Teorías relacionadas al tema

Los fundamentos que soportan la parte teórica del proyecto se requieren para identificar las características y beneficios que ostenta los Sistemas Global de Navegación por Satélite, sobre todo ayuda a tener una ubicación más precisa de una persona u objeto.

### 1.5.1. Sistemas Global de Navegación por Satélite

#### 1.5.1.1. NAVSTAR – GPS

##### – Definición

Según el autor [17], este sistema que nos permite ubicar la posición sobre la superficie de la Tierra por medio de una comparación de señales de radio a partir varios satélites. También, el GPS, diseñado para la evaluación precisa de la posición, velocidad y del tiempo (PVT).

Por otro lado, se puede aplicar, el Sistema GPS con operaciones que calculan las coordenadas y velocidades de satélites, así como pseudorangos y rangos delta entre usuario y todos los satélites GPS rastreados.

##### – Características del GPS

Tabla 1: Características del GPS

Características	Descripción	Impacto
Posicionamiento	Puede determinar la ubicación dentro de cm.	La mayoría característica importante de GPS
Sincronización	Ha incorporado un reloj atómico.	Ayuda con muchas aplicaciones de negocios.

Punto a punto  
Distancia

Puede determinar la distancia Ayuda en la gestión del  
entre dos puntos de la Tierra. tráfico.

---

Fuente: [17]

### – Aplicación del GPS

Según el autor [17], se aplica en los siguientes: Sincronización, Topografía, Logística, La gestión del tráfico, Seguridad, Márketing, Pescar, Agricultura, Bancario, La industria de alquiler de coches y Predicción del tiempo.

### – Componentes del GPS

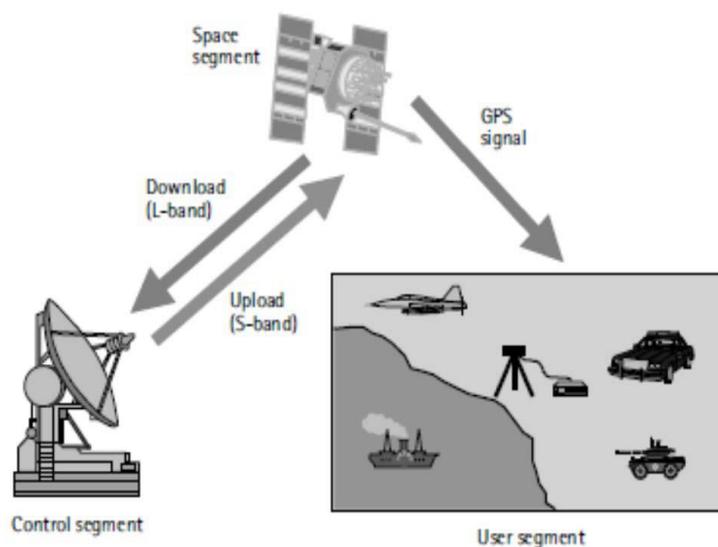


Figura 1: Componentes del GPS

Fuente: [18]

## – Segmento Espacial

Consiste en el componente de satélite que transmite información al segmento de usuario del sistema y la agrupación y posicionamiento de esos satélites que son las constelaciones.

- **Constelación:** Son 24 satélites colocados en seis planos orbitales, es decir 4 satélites se encuentra en cada plano orbital, y para que cada satélite esté uniformemente dentro de un ciclo de órbita de 12 horas, e inclinado a  $55^\circ$  con respecto al plano ecuatorial. [19]

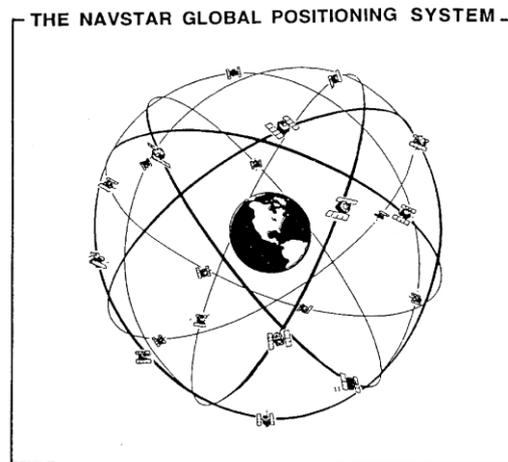


Figura 2: Diagrama del Sistema de Posicionamiento Global NAVSTAR

Fuente: [19]

- **Satélites:** [19] Se compone de muchos modelos diferentes de satélites, que van desde los satélites originales del Bloque 1 que se lanzaron a finales de los años 70 hasta los satélites del Bloque 2 y otras variaciones de esos satélites que se lanzaron desde finales de los años 80 en adelante.

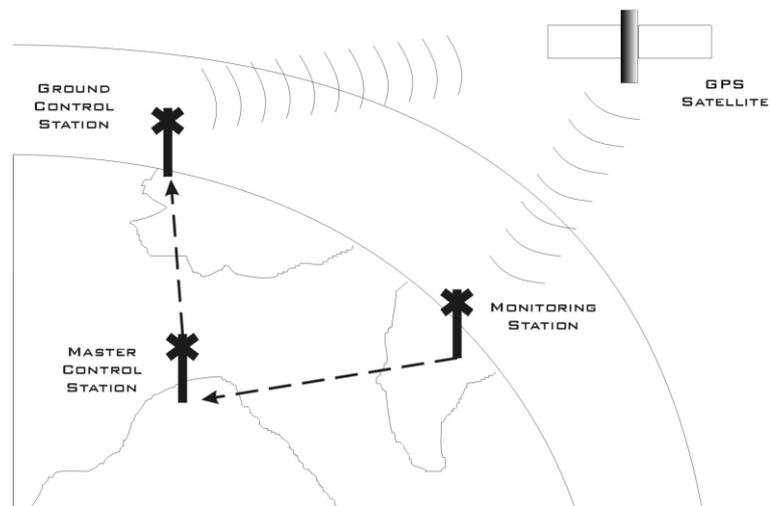
Cada satélite tiene una cantidad de identificadores potenciales que incluyen; el número de secuencia de lanzamiento, código de ruido pseudoaleatorio del vehículo asignado (PRN), el número de ubicación orbital, el número de catálogo de la NASA y la designación internacional. La transmisión consiste en múltiples piezas de información que son valiosos para el usuario para su posición dentro del mundo y son:

- **Códigos de ruido pseudoaleatorio (PRN)**
- **Efemérides satelitales:** Consiste en datos de tipo orbital que están relacionados con los satélites, existen 3 tipos y son datos de almanaque, efemérides de difusión y efemérides precisas.
- **Efemérides precisas**
- **Disponibilidad selectiva y antifalsificación:** [19] Es donde hay errores intencionales dentro del sistema que fueron colocados allí por los controladores del sistema. Esencialmente, cuando la disponibilidad selectiva está habilitada dentro del sistema GPS, la precisión del usuario dentro del sistema se degrada hasta el punto en que logran una posición aproximada, en lugar de precisa. La disponibilidad selectiva se implementó en los satélites del bloque 2 (desde 1990), pero a partir 2000, la disponibilidad selectiva fue desactivada por una orden presidencial de los Estados Unidos.

#### – **Segmento de Control**

[19] Consiste en los Sistemas de Control Operativo (OCS), que consisten en 3 estaciones que son:

- **Estación de control principal:** Esta estación es operada por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Esta estación reside en Colorado Springs. Esta procesa los datos entrantes del sistema de satélite a través de las estaciones de monitoreo y calcula la órbita del satélite y los parámetros del reloj. Luego, la data se envía a las estaciones de control de tierra para luego cargarse al sistema satelital.
- **Monitorear estaciones:** Las estaciones de monitoreo consisten en cinco estaciones y se ubican en Colorado Springs, Hawái, y la Isla Ascensión dentro del Océano Atlántico Sur, Diego García dentro del Océano Índico y Kwajalein dentro del Océano Pacífico Norte. Estos contienen relojes atómicos de cesio y receptores de radio, para así poder monitorear todos los satélites en la vista de cada estación y los datos que reciben se envían a la estación de control principal. [19]
- **Estaciones de control en Tierra:** Se encuentran junto con las estaciones de monitoreo en las Islas Ascensión, Diego García y Kwajalein. Las estaciones terrestres son antenas que son capaces de transmitir a los satélites GPS mediante enlaces de radio de banda S. La información recibida de la estación de control maestra se carga en el satélite una o dos veces al día. La Figura 2, describe el procesamiento de datos de control en el Sistema GPS. [19]



*Figura 3: Datos de Control en el Sistema GPS*

– **Segmento de Usuario**

Consiste en los dispositivos GPS que reciben la señal de la constelación de satélites de manera puramente pasiva. No se comunican con el satélite de ninguna manera. [19]

– **Funcionamiento del GPS**

El autor [20], nos dice que el GPS su objetivo es calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas ( X, Y, Z ), partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización se conoce.

– **Cadenas de Código GPS**

Según el autor [20], el código pseudo-aleatorio transmitido tiene tres tipos de cadenas:

- Código C/A (Coarse/Acquisition), su frecuencia 1.023 MHz.

- Código P (Precisión Code), su frecuencia 10 veces mayor al código C/A.
- Código Y, se envía encriptado en lugar del código P, cuando está activo el modo de operación antiengaños.

#### – Frecuencias

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias:

- Portadora L1, de 1575.42 MHz., transmite los códigos C/A y P.
- Portadora L2, de 1227.60 MHz., transmite información militar modulada en código P.

#### – Principios de funcionamiento del sistema GPS

- **Trilateración:** Es medición del alcance de varios satélites hace que todas las capas esféricas se encuentren en una región en particular y el aumento en el número de satélites observables minimiza esta región, por lo que el error de posición se reduce. Un receptor adquirir la señal de GPS de un solo satélite, el conjunto de posibles ubicaciones del receptor sería todo el caparazón esférico, en el centro del cual se encuentra el satélite de transmisión y cuyo radio es la medida de la distancia. [18]

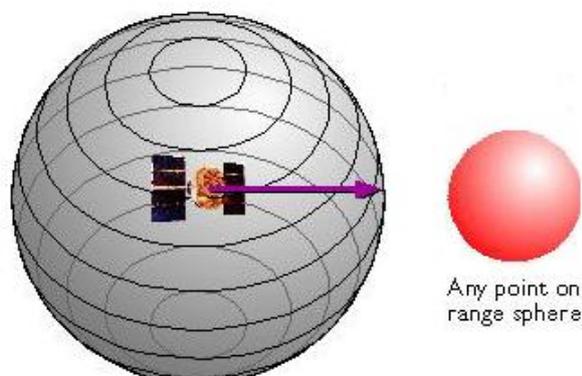


Figura 4: Primera medición coloca el receptor en algún lugar de la esfera

Fuente: [18]

El receptor adquiere señales GPS de dos satélites, el mismo está en algún lugar de la intersección, en un círculo, de dos capas esféricas.

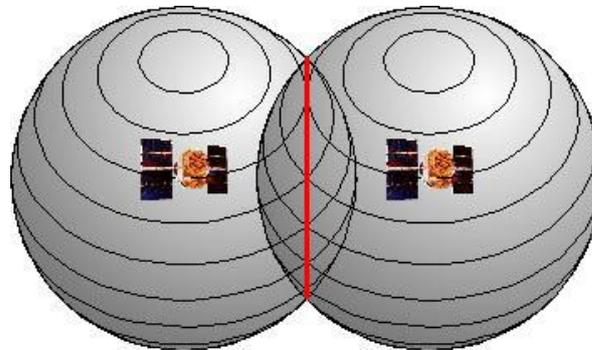


Figura 5: Segunda medición de un segundo satélite proporciona que el receptor está en algún lugar de este círculo

Fuente: [18]

El receptor adquirir señales GPS de tres satélites, la ubicación es uno de los dos puntos de intersección de las tres capas esféricas. El punto que más se acerca a la superficie de la tierra es el posicionamiento del receptor. [18]

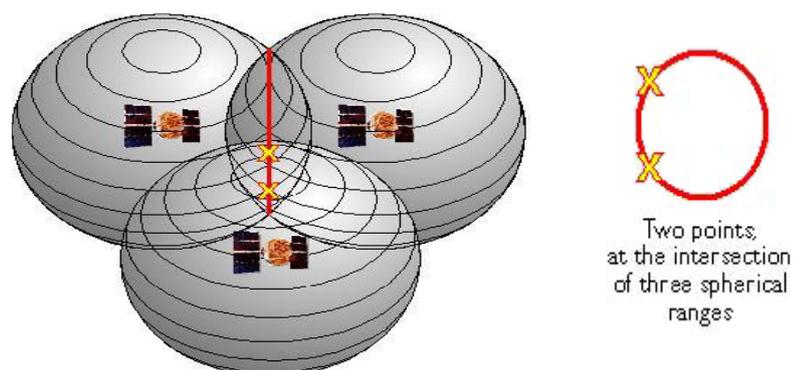


Figura 6: Tercera medición de otro satélite coloca el receptor en uno de los dos puntos donde las tres esferas

Fuente: [18]

Mientras que 3 satélites son suficientes para la ubicación de uno, se requiere un cuarto para una estimación de posición confiable. [18]

- **Coincidencia real de satélites:** [18] Cada satélite en el sistema GPS genera un código PRN de 1023 bits de longitud completamente único y los receptores GPS también producen el mismo código para cada satélite. Cada código es pseudoaleatorio y la correlación cruzada de cualquier código con respecto a cualquier otro es muy baja.

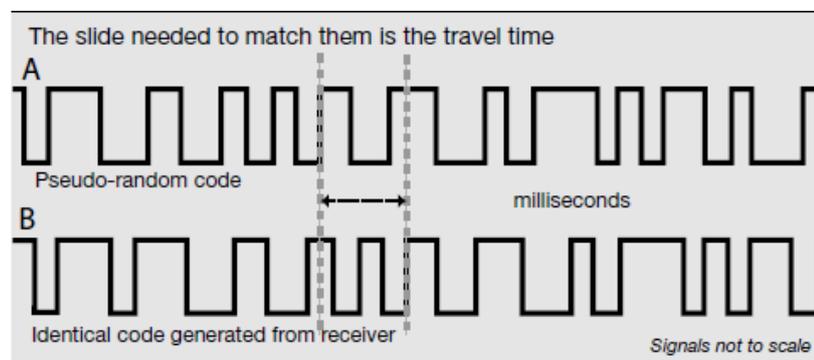


Figura 7: Código pseudoaleatorio

Fuente: [18]

- **Convertir sistema de coordenadas y calcular una posición:** Las ecuaciones no lineales creadas para la estimación de la posición no son fáciles de resolver directamente. Se requieren métodos de linealización e iteración para poder resolverlos. [18]

#### – Niveles de Servicio GPS

El autor [20], estos se separan del uso civil del militar:

- **Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS-Standard Positioning Service):** Precisión de posicionamiento civil obtenida con la utilización del código C/A de frecuencia simple.

- **Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS-Precise Positioning Service):** Es posicionamiento dinámico de mayor precisión, basado del código P de frecuencia dual, y solo está accesible para los usuarios autorizados.
- **Fuentes de error de estimación de posición GPS**
- **Error de reloj de satélite y receptor:** Aunque los relojes atómicos de los satélites GPS son muy precisos, no son impecables. El error del reloj satelital varía entre 8.64 ns y 17.28 ns por día, lo que corresponde a un rango de error aproximadamente entre 2.59 m a 5.18 m como resultado de una multiplicación directa con la velocidad de la luz. Es notable que los relojes de cesio tienden a funcionar mejor durante un período de tiempo prolongado en comparación con los relojes de rubidio.[18]
  - **Ruido electrónico en la señal y en receptor:** La calidad del diseño del receptor, la temperatura y las interferencias causadas por otras fuentes de señal de radio dan como resultado un error al calcular el posicionamiento. [18]
  - **Incertidumbre en la posición de los satélites (Efemérides):** Aunque las señales de corrección de la posición del satélite son transmitidas por la estación de control principal, todavía existe incertidumbre de precisión en la posición del satélite. Esta incertidumbre provoca un error al medir el posicionamiento del receptor. [18]
  - **Degradación intencional – Disponibilidad selectiva:** Originalmente, para evitar ataques enemigos, el ejército de los EE.UU. introduce intencionalmente algunos errores de posición, dentro de  $\pm 100$  m. Este deterioro intencional en la precisión de

la posición, denominado Disponibilidad Selectiva, se abolió en el año 2000. [18]

- **Error de trayectoria múltiple:** Es del satélite la señal que llega al receptor desde múltiples rutas, una de las cuales es directamente y las otras se reflejan en las estructuras. Este Se encuentra un error de trayectoria múltiple cuando una señal de satélite llega al receptor desde múltiples rutas, una de las cuales es directamente y las otras se reflejan en las estructuras. [18]
- **Disposición geométrica de los satélites (Dilución de Precisión (DOP)):** Como todos los sistemas de rango, la precisión de la posición estimada en el sistema GPS está afectada por la geometría del receptor-transmisor. En generales, en la circunstancia que los satélites estén más separados entre sí, se obtiene la menor incertidumbre en la posición del receptor, a pesar de que la incertidumbre de medición es idéntica. [18]
- **Efectos atmosféricos en la troposfera y la ionosfera:** Las capas de troposfera e ionosfera de la atmósfera terrestre abarcan 50 km de la tierra y 500 km del límite superior de la troposfera, respectivamente. Cuando la luz pasa a través de la troposfera y la ionosfera, la velocidad de la misma disminuye, lo que da como resultado que el rango medido para el satélite sea más largo que la distancia real. [18]
- **Efecto de la interferencia de radiofrecuencia en las señales GPS:** La precisión en la estimación de la posición del GPS podría reducirse significativamente por RFI (interferencia de radiofrecuencia). Los receptores GPS de frecuencia simple y doble se ven influenciados de manera diferente a una interferencia de RF externa.

Un receptor de frecuencia única sufre la interferencia antes en comparación con un receptor de frecuencia dual, el impacto de RFI podría disminuir considerablemente calculando la diferencia en las fases L1 y L2. [18]

### **1.5.1.2. GLONASS**

#### **– Definición**

[21] El GLONASS (Ruso: Globalnaja nawigacionnaja sputnikowaja sistema) creado como una comunicación militar experimental en 1970. Luego se dieron cuenta que tenían aplicaciones comerciales, debido a su capacidad para transmitir información meteorológica, comunicaciones, navegación y reconocimiento. El GLONASS se implementó (1982-2005) y GLONASS-K (2011-2018), respectivamente. Se constituye de un segmento espacial, un segmento de usuario y estaciones de referencia. El segmento espacial GLONASS consta de 24 satélites activos y de repuesto tiene a 3 satélites.

La inclinación es de 64,8 grados y la altura de los satélites en órbita es de 19.140 kilómetros. La geometría de la constelación GLONASS se repite una vez cada ocho días. El período orbital de cada satélite es de aproximadamente 8/17 días, de modo que al cabo de ocho días los satélites GLONASS realizan exactamente 17 revoluciones. Cada plano orbital contiene ocho satélites equidistantes.

La señal del satélite GLONASS identifica el satélite indicando datos como: Información sobre la ubicación; Velocidad; La aceleración utilizada para calcular la ubicación de los satélites; Información sobre el estado de salud del satélite; Cambio de hora GLONASS desde UTC. [21]

### **1.5.1.3. GALILEO**

#### **– Definición**

[22] Galileo Es la iniciativa europea y se asemeja al GPS. Utiliza la técnica de difusión de código CDMA que permite que cada satélite tenga un código PRN único para su identificación. Los códigos de difusión tienen una longitud de 4092 chips.

Sus similitudes con el GPS nos ayudan a crear un código reconfigurable y un módulo de seguimiento de portadoras del receptor GNSS. La tasa de chip es  $1.023 \times 10^6$  MHz que es igual del GPS.

### **1.5.1.4. BEIDOU**

#### **– Definición**

[23] El primer país en desarrollar un sistema de navegación regional independiente es China, este sistema está basado en órbita geoestacionaria llamado BeiDou-2, que está en pleno funcionamiento desde 2012. Sin embargo, China está ampliando su sistema de navegación regional al sistema mundial, para que se encuentre operativo a nivel mundial. La constelación incluye 35 satélites, con 5 órbitas geoestacionarias (GEO), 27 órbitas terrestres medias (MEO) y 3 órbitas geosíncronas inclinadas Satélites (IGSO).

### **1.5.1.5. QZSS**

#### **– Definición**

Japón también diseño su propio sistema llamada Sistema de Satélites Cuasi-Zenith (QZSS), que fue aprobada en el año 2002, este sistema es un sistema regional de aumento para el GPS que solo se recibiría dentro de Japón. Su principal objetivo de QZSS es aumentar la disponibilidad y la precisión de la navegación del GPS en zonas urbanas a las que sólo se puede acceder a satélites con ángulos de elevación más altos debido a obstáculos. [23]

Se encuentra compuesto por tres satélites en órbitas geosíncronas elípticas cuyos planos están separados  $120^\circ$  e inclinados a  $45^\circ \pm 5^\circ$ .

#### **1.5.1.6. IRNSS**

##### **– Definición**

Según el autor [23], India diseñó su propio Sistema Regional de Navegación por Satélite de la India (IRNSS), el cual consta de tres satélites en órbita geoestacionaria situados a  $34^\circ\text{E}$ ,  $83^\circ\text{E}$  y  $132^\circ\text{E}$  y cuatro satélites en órbita geosíncrona inclinada a  $29^\circ$ .

IRNSS brinda un Servicio de Posicionamiento Estándar que se encuentra disponible para todos los usuarios y además un Servicio Restringido que es un servicio encriptado, accesible solo para los autorizados.

#### **1.5.1.7. Técnicas de Sistemas Global de Navegación por Satélite**

##### **– Combinación de múltiples receptores GPS**

El autor [10]. Se utilizaron múltiples receptores GPS de bajo costo y una técnica de procesamiento posterior para mejorar las mediciones de distancia en un vehículo en movimiento.

La idea de utilizar múltiples receptores para aumentar la precisión del GPS, determinar la actitud o mejorar la productividad en la Unidad de Medición Inercial (IMU). El concepto de receptor GPS múltiple para aumentar el rendimiento de una solución de navegación, su implementación necesita un conocimiento complejo de operación a bajo nivel del receptor GPS específico utilizado. El foco de este esfuerzo estaba en los receptores comerciales de GPS sin acceso a sus detalles operativos patentados.

Se desarrolló un método GPS múltiple de bajo costo con conceptos similares a este trabajo. Sin embargo, existen varias diferencias. El

objetivo era mejorar la precisión absoluta del GPS no aumentado en una aplicación estacionaria. En este trabajo, las mediciones relativas fueron de interés utilizando el GPS aumentado WAAS en una aplicación móvil.

#### – **GPS Diferencial (DGPS)**

El GPS autónomo desaparecerá en los teléfonos inteligentes, ya que los operadores inalámbricos pueden comunicar información al receptor. El DGPS puede hacer el posicionamiento más rápido, con mayor precisión y con un menor consumo de energía. [18]

Esto mejora el rendimiento y disminuye la tensión de la batería. En el método DGPS, la precisión del cálculo del GPS aumenta al tomar simultáneamente la observación del GPS en dos ubicaciones (ver Figura), que tienen una dilución geométrica idéntica de precisión.

Luego, la corrección de pseudorángos en una ubicación desconocida se realiza utilizando los pseudorango-errores medidos en la posición conocida (receptor de referencia). La conexión del teléfono celular a las estaciones base generalmente está disponible y se conoce la posición de la estación base. La estación base con coordenadas conocidas se puede utilizar como receptor de referencia.

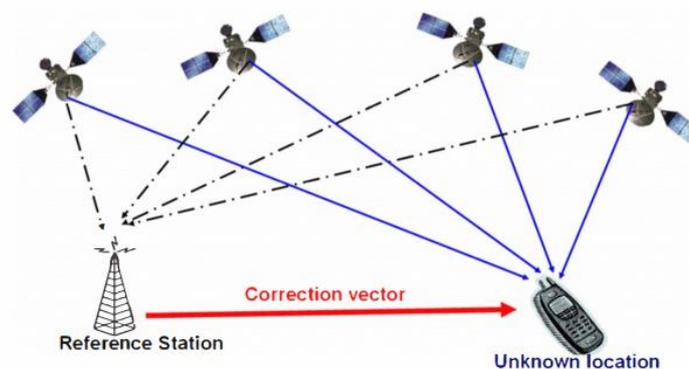


Figura 8: GPS Diferencial

Fuente: [18]

## – **GPS OCX**

El autor [24]. El segmento de control del Sistema de Posicionamiento Global es una red global de instalaciones terrestres que rastrean los satélites GPS, monitorean sus señales, analizan su desempeño, comparten conciencia de la situación con los usuarios y envían comandos y data a la constelación. Está diseñado para mejorar la funcionalidad actual y agregar capacidades adicionales para garantizar que el GPS mantenga su estado como el sistema de navegación global. Algunas de estas capacidades incluyen:

- Una capacidad de ciberseguridad altamente robusta que garantiza la disponibilidad e integridad de las señales GPS.
- Soporte para satélites GPS III modernos.
- Operaciones automatizadas para reducir el tamaño de la tripulación y brindar mayor capacidad de respuesta en la tarea.
- Automatización que permite cargas SV más frecuentes para mejorar la precisión del GPS.
- Mejor precisión a través de tecnologías avanzadas de filtro de Kalman.
- Soporte avanzado para guerreros.
- Comando, control y monitoreo de señales militares y nuevas señales civiles: L1C, L2C y L5.

OCX representa un paso importante en la modernización de la empresa de GPS al proporcionar un GPS más seguro, capaz y receptivo.

## – **Filtro de Kalman (FK)**

Es un estimador cuadrático lineal dado un modelo de espacio de estado dinámico, un grupo de medición y el conocimiento de las estadísticas que rodean el modelo y sus mediciones. Es una de las herramientas más utilizadas en la estimación y el control del estado debido a su naturaleza robusta y su aplicabilidad a muchos sistemas

mecatrónicos, incluida la robótica, la aviación, la automatización y mucho más. El KF se implementa mediante un programa y una descripción matemática del sistema para que se pueda lograr la mejor estimación del estado dinámico. [4]

[4] En el campo de los vehículos autónomos, que generalmente utilizan muchos sensores para definir el estado del sistema, son una plataforma perfecta para ejercer el filtrado de Kalman porque cada tarea depende de alguna interpretación de los datos del sensor. Es un algoritmo de procesamiento de datos recursivo que toma una serie de datos observados a lo largo del tiempo, que se ve perturbado por el ruido y otras imprecisiones para la estimación de variables de interés desconocidas con mayor precisión. Su aplicación más importante es el control de sistemas dinámicos complejos como procesos de fabricación, aviones, naves espaciales o barcos. Para controlar un sistema tan complejo, uno debe inferir lo que está haciendo.

Para tales sistemas, no siempre es posible determinar cada variable de estado que desea controlar, y el filtro Kalman proporciona los medios para obtener los datos desconocidos de las mediciones ruidosas.

Algoritmo filtro de Kalman para obtener los datos de las mediciones de ruido.

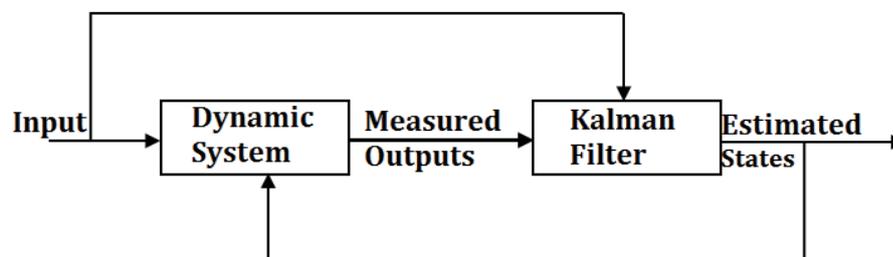


Figura 9: Diagrama Básico de bloques Kalman Filter

Fuente: [4]

El propósito del KF es estimar el estado de un sistema dinámico y a menudo se lo conoce como un modelo de observador o estimador de estado. Requiere un modelo del sistema dinámico de interés, sin embargo, este modelo suele ser solo un modelo estimado de la dinámica del mundo real. [4]

[4] La suposición general en un KF es que hay algún sistema dinámico que se mide por sensores, y se aplica una entrada de control conocida al sistema dinámico. Con las entradas, salidas y una estimación del modelo de dinámica del sistema, se puede generar una estimación de las variables de estado y, por lo tanto, proporcionar una retroalimentación de estado completo estimada para el controlador. En este documento, la estimación deseada es la posición, la velocidad requerida para seguir el vehículo continuamente.

[4] Este método gira entre dos etapas, el paso de predicción y el paso de actualización de la medición. En el paso de predicción, los estados del sistema se predicen hacia adelante en el tiempo utilizando una predicción basada en el modelo, dado el estado actual del sistema como entrada. En el paso de actualización de la medición, la etapa pronosticada se corrige utilizando un promedio ponderado de entrada sensorial ruidosa basado en el ruido y la confianza estimada para cada sensor.

#### – **Filtro de Kalman Extendido (EKF)**

[7] La idea básica de EKF es enfocarse en el valor de la expansión de Taylor no lineal de primer orden alrededor del estado de lo estimado, luego transformar el sistema no lineal en una ecuación lineal. El algoritmo EKF se usa comúnmente en sistemas de filtro no lineales, y el cálculo es fácil de implementar.

Sin embargo, la expansión de Taylor pertenece al proceso lineal, por lo que solo si el estado del sistema y las ecuaciones de observación son cercanas a lineales y continuas, los resultados de EKF están relativamente cerca del valor verdadero. Además, el resultado del filtrado se ve afectado por el estado y el ruido de medición.

Si la matriz de covarianza de ruido de estado y observación no se estima con la suficiente precisión, el error acumulativo puede conducir a la divergencia del filtro.

[7] El algoritmo de EKF tiene fuertes; por ejemplo, EKF es un método de filtro no lineal común en el que el cálculo es simple y fácil de implementar. Las limitaciones de EKF incluyen:

- Debido a que la expansión de Taylor es un proceso lineal, el valor estimado de EKF puede estar relativamente cerca del valor verdadero solo cuando el estado del sistema y las ecuaciones de observación son casi lineales y continuas.
- El rendimiento de EKF se basa en el estado y el ruido de observación. Si las dos matrices de covarianza de ruido no se estiman con la suficiente precisión, se acumularían errores, como resultado EKF obtiene divergencia.

#### – Filtro de Kalman Sin Perfume (UKF)

[11] El algoritmo UKF es la estimación de varianza mínima basada en UT (Transformación sin perfume). Primero fue propuesto por Julier en 1995. La distribución del estado aquí está representada por un número de puntos elegidos apropiadamente, que es diferente de las Variables Aleatorias Gaussianas (GRV) en UKF con muestreos deterministas. Estos puntos evolucionan de acuerdo con la dinámica del verdadero sistema no lineal.

Por lo tanto, en comparación con el EKF, el UKF no solo tiene la posibilidad de mejorar la precisión de la estimación, sino que también es más fácil de implementar. Además, a diferencia de EKF, las evaluaciones del jacobiano y cualquier orden de derivados parciales no son necesarias en el UKF. Algunos documentos propusieron el nuevo algoritmo EKF y UKF, y se utilizaron en el posicionamiento GPS.

El algoritmo de UKF adaptativo difuso se aplicó en la navegación celestial de naves espaciales. Cuando no se pueden recibir más de cuatro satélites, se puede obtener una precisión en el procesamiento de datos considerando el pequeño error de linealización del algoritmo UKF.

[11] El UKF se usa principalmente para un sistema no lineal arbitrario, y la inestabilidad numérica a menudo hace que la matriz de covarianza  $P$  pierda su definición positiva durante el procedimiento de filtrado. Mientras tanto, en la aplicación de posicionamiento, el conocimiento exacto de la matriz de ruido que se requiere en el marco del filtro de Kalman generalmente es desconocido y varía en el tiempo en la práctica.

Las estadísticas previas inapropiadas en el filtro de Kalman causan grandes errores de estimación o incluso errores posiblemente divergentes. Debido al ruido incierto del proceso, el UKF estándar produce un bajo rendimiento en robustez y precisión de seguimiento.

[11] En el proceso de filtrado estándar, la norma en la matriz de covarianza de error de estimación se reduce con el tiempo, por lo que los efectos de las observaciones para la corrección de la estimación de estado son cada vez más debilitado. Como las observaciones recientes contienen más información sobre el modelo de sistema dinámico modificado, en el proceso, los efectos de las nuevas observaciones para el error de estimación de estado deben mejorarse, y los efectos de las antiguas observaciones deben reducirse.

## – Posicionamiento de Punto Preciso (PPP)

[5] El enfoque de estimación de posición utilizado para los algoritmos PPP fue un Filtro Kalman Extendido (EKF), que es adecuado debido a dos razones. Permite su aplicación a modelos no lineales, como es el caso del modelo de mediciones descrito, y es perfectamente adecuado para aplicaciones en tiempo real. Los estados del sistema son los siguientes.

Primero, tres coordenadas de posición en el marco de referencia Centrado en la Tierra (ECEF) y el sesgo del reloj del receptor, expresado en unidades de longitud. Segundo, un término de corrección para el retraso troposférico cenital debido al componente húmedo, destinado a compensar las posibles deficiencias del modelo. Finalmente, un número variante de ambigüedades de las mediciones de fase portadora de los satélites presentes en la época. Como se utilizaron mediciones no diferenciadas, estas ambigüedades se tratan como números reales.

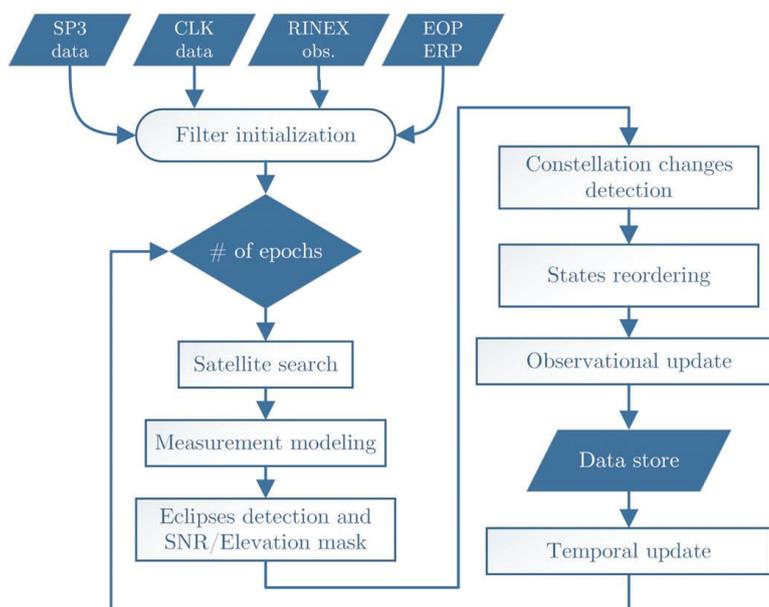


Figura 10: Diagrama de Flujo del Algoritmo de Posicionamiento de Punto Preciso (PPP)

Fuente: [5]

Debido a que el análisis se realizó con base en mediciones de estaciones terrenas fijas, las coordenadas de posición se consideran constantes durante la actualización temporal del filtro. La polarización del reloj del receptor y la corrección del retraso troposférico cenital húmedo se propagan según sus respectivos modelos de proceso.

[5] La figura muestra un diagrama de flujo del algoritmo PPP completo. Toma como entrada las mediciones de la estación seleccionada y automáticamente busca y descarga las órbitas necesarias y los datos de los relojes, dependiendo de los productos seleccionados para usar, es decir, igs, igu o igc.

#### – **Estimación de PVT Cinemáticos**

[13] Los métodos de punto único descritos no utilizan información de pasos anteriores del procesamiento de datos, ya que, para cualquier porción nueva de observables, se calcula una nueva solución PVT. Yendo un paso más allá, es posible modelar el movimiento del usuario y usar el ejemplo de predecir la posición y la velocidad, así como los errores de reloj en la próxima época, según la solución de navegación de la época anterior.

De esta manera, la información de las mediciones históricas se conserva en nuevas soluciones y los datos estimados son menos propensos a los cambios rápidos de la geometría del satélite o la precisión de las mediciones.

Existen modelos de movimiento aplicables a diversos tipos de usuarios (plataformas o vehículos). Se pueden dividir en dos grupos, es decir, modelos dinámicos y modelos cinemáticos. Los modelos dinámicos formulados adecuadamente son más precisos que los cinemáticos, pero se expresan mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales complicadas y requieren un buen conocimiento del tamaño, peso, geometría y parámetros del entorno de la plataforma (por ejemplo, densidad del aire, temperatura, etc.).

Por lo tanto, su uso es engorroso, especialmente en receptores GPS, que se pueden instalar en cualquier tipo de plataforma. [13]

Los modelos cinemáticos se basan en ecuaciones diferenciales lineales de primer orden, que expresan relaciones entre la posición del usuario, la velocidad, la aceleración, etc. Dichos modelos son impulsados por ruidos blancos gaussianos, que representan incertidumbres en el modelo y están conectados con fuerzas de dirección desconocidas (acciones desconocidas del conductor / piloto / operador), así como influencias desconocidas del medio ambiente, p. Ej. ráfagas de viento al azar, etc.

Los modelos típicos utilizados para este propósito son los modelos:

P (como posición), PV (como posición / velocidad) y PVA (como posición / velocidad / aceleración). Contienen diferentes números de variables de estado y son adecuados para plataformas de diferentes niveles de maniobrabilidad.

Para plataformas casi estacionarias o de movimiento muy lento y aleatorio, como boyas de mar, globos atados, etc., el modelo más adecuado es el modelo P, que supone que los cambios de posición son causados por perturbaciones aleatorias, causadas físicamente por olas, ráfagas de viento etc.

#### – **GPS RTK (Real Time Kinematic)**

[25] Es un sistema de Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real, que brinda de manera submétrica en tiempo real la posición de una ubicación. Tienen una estación base receptora de señal GPS que transmite mediante un enlace de datos inalámbrico la señal de corrección a una o varias unidades móviles.

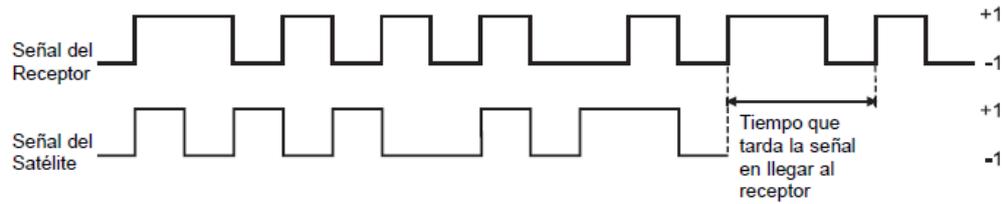


Figura 11: Obtención de distancia / tiempo entre satélite y receptor

Fuente: [25]

– **Networked Transport of RTCM Via Internet Protocol (NTRIP)**

[26] Consiste en transmitir correcciones diferenciales GNSS a través del protocolo de internet (TCP / IP) en formato estándar RTCM (The Radio Technical Commission for Maritime Services), por medio del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), dichas correcciones son calculadas desde la estación de referencia y ofrecidas a los usuarios vía internet.

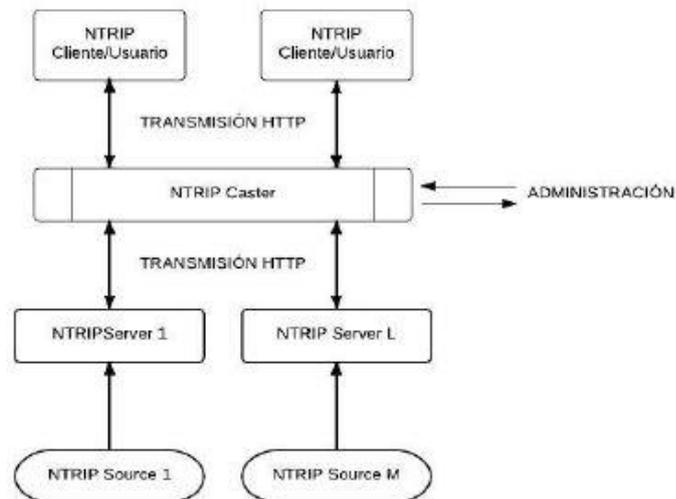


Figura 12: Arquitectura NTRIP

Fuente: [26]

## II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 2.1. Método de Investigación

En este proceso de la verificación bibliográfica se realiza un estudio de revisión para comparar, la cual busca recopilar información en información de investigación en el que explica a los Sistemas Global de Navegación por Satélite. Y así conocer el actual estado del conocimiento. Para proporcionar una información confiable y sólida necesitamos investigar los últimos 8 años, entre los años 2015 al 2023.

Para realizar la revisión bibliográfica de esta investigación se utilizará la Metodología PRISMA

#### – Revisión Bibliográfica basada en la Metodología PRISMA

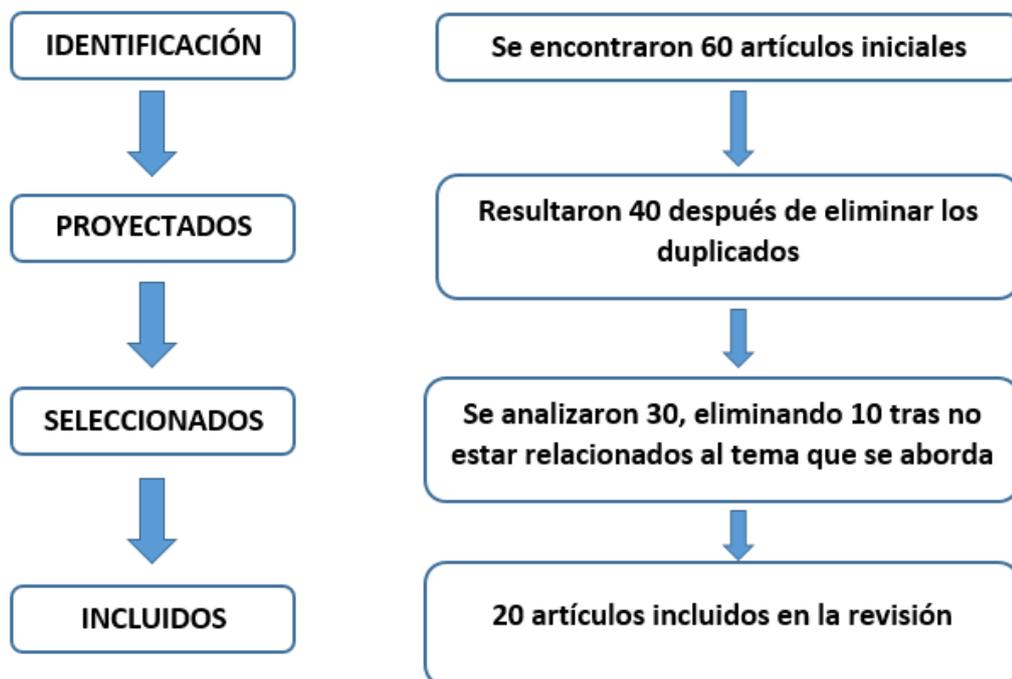


Figura 13: Método de Investigación.

Esta sección contribuye a la búsqueda de los artículos, que se llevan a cabo haciendo uso de base de datos de artículos científicos más reconocidos como son: IEEE Xplore, SienceDirect, Scielo, y Scopus.

The screenshot displays the IEEE Xplore search interface. At the top, the navigation bar includes links for IEEE.org, IEEE Xplore, IEEE SA, IEEE Spectrum, and More Sites, along with options for Subscribe, Cart, Create Account, and Personal Sign In. The main header features the IEEE Xplore logo and navigation menus for Browse, My Settings, Help, and Institutional Sign In. A large banner reads "Advancing Technology for Humanity" with a search result count of 6,158,734 items. The search bar contains the query "global satellite navigation system". Below the search bar, there are buttons for "ADVANCED SEARCH" and "TOP SEARCHES". The results section shows "Showing 1-25 of 12,134 results for global satellite navigation system". It includes filters for Conferences (8,018), Journals (2,828), Magazines (282), Books (201), Early Access Articles (95), and Standards (10). On the left, there are filters for "Show" (All Results, Open Access Only), "Year" (Single Year, Range), and "Author". The main results list includes "The IEE Seminar on New Developments and Opportunities in Global Navigation Satellite Systems - 24 March 2005" and "Flight Tests of Onboard SNS Equipment Characteristics During Operation with Different Global Navigation Satellite Systems". On the right, there are promotional banners for "National Transportation Data & Analytics Solution" and a "10 YEARS" anniversary logo.

Figura 14: *Búsqueda inicial en la base de datos IEEE Xplore*

**Fuente:** Elaboración propia

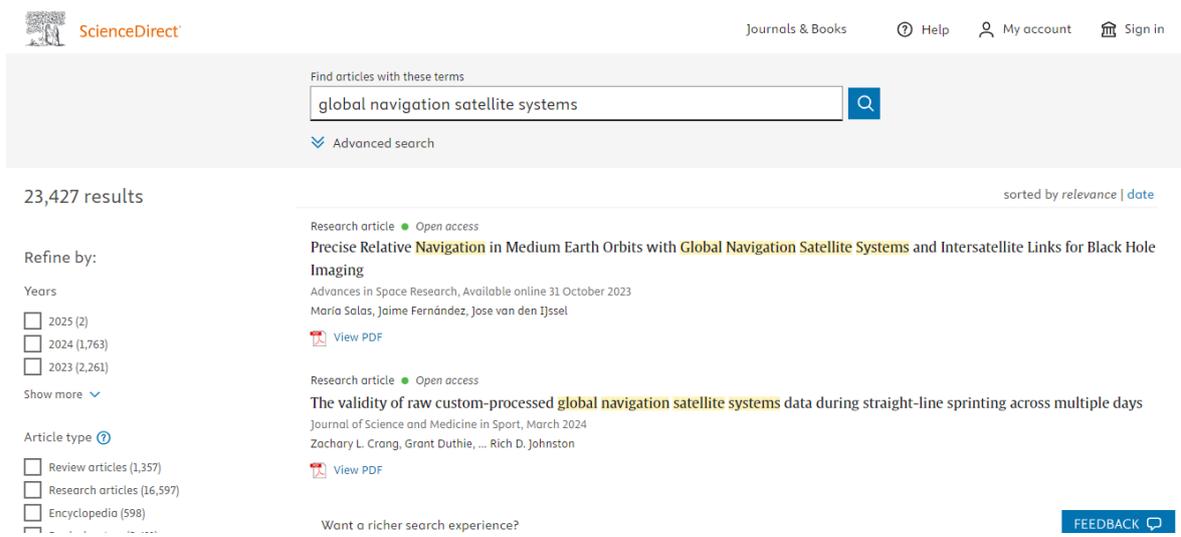


Figura 15: *Búsqueda inicial en la base de datos ScienceDirect*

Fuente: Elaboración propia

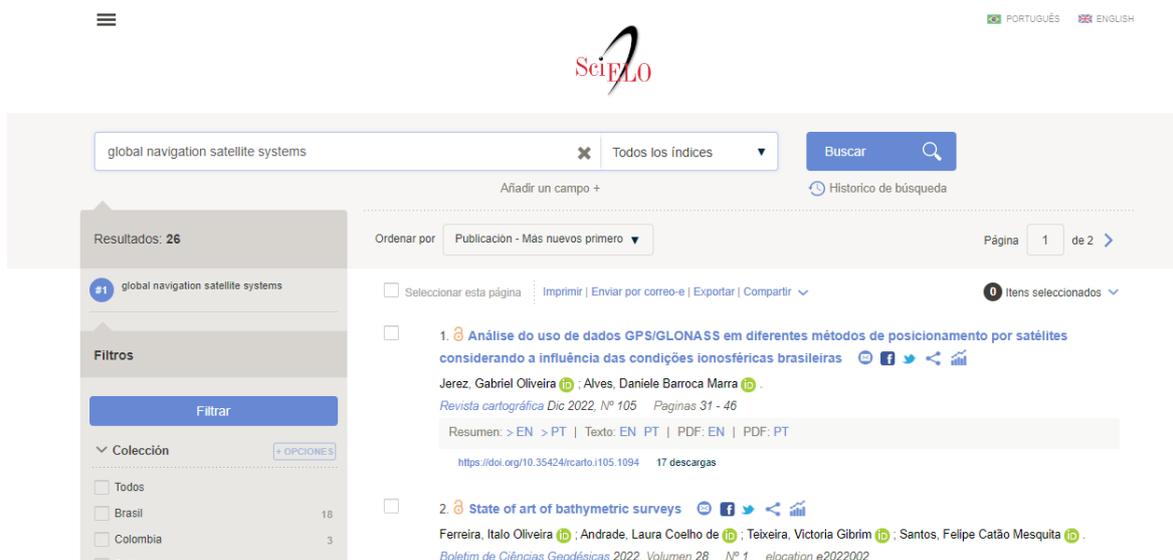


Figura 16: *Búsqueda inicial en la base de datos SciELO*

Fuente: Elaboración propia

The screenshot shows the Scopus search results page. At the top, there is a search bar with the query "global AND navigation AND satellite AND systems". Below the search bar, there are options to "Save search" and "Set search alert". The search results are displayed in a table with columns for Document title, Authors, Source, Year, and Citations. The first result is "A static precise single-point positioning method based on carrier phase zero-baseline self-differencing" by Cai, C., Lv, K., Cai, Y., ... Wu, M., Cheng, L., published in Scientific Reports, 2024, with 14(1) citations and 12590 references.

Figura 17: *Búsqueda inicial en la base de datos Scopus*

**Fuente:** Elaboración propia

Para la revisión bibliográfica se realizó la siguiente búsqueda lógica "global navigation satellite systems" AND ("global navigation systems", OR "satellite systems") en las fuentes como SciELO, IEEE Xplore, Science Direct y Scopus. Se analizaron distintos indicadores, como, revistas, palabras clave, cantidad de referencias, resumen, basados en la regla de búsqueda planteada. Se describe las tendencias según el año de publicación y número de citas.

The screenshot shows the IEEE Xplore search results page. The search query is "global satellite navigation system". The results are filtered by the years 2015 to 2023. The interface displays search filters, document counts, and navigation options. The first result is "A static precise single-point positioning method based on carrier phase zero-baseline self-differencing" by Cai, C., Lv, K., Cai, Y., ... Wu, M., Cheng, L., published in Scientific Reports, 2024, with 14(1) citations and 12590 references.

Figura 18: *Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos IEEE Xplore*

**Fuente:** Elaboración propia

ScienceDirect Journals & Books Help My account Sign in

Find articles with these terms

Year: 2015-2023 X  
 Advanced search

12,919 results sorted by relevance | date

Refine by:  
 Years  
 2023 (2,261)  
 2022 (2,021)  
 2021 (1,847)  
 2020 (1,460)  
 2019 (1,300)  
 2018 (1,118)  
 2017 (1,108)

Research article ● Open access  
**Precise Relative Navigation in Medium Earth Orbits with Global Navigation Satellite Systems and Intersatellite Links for Black Hole Imaging**  
 Advances in Space Research, Available online 31 October 2023  
 María Salas, Jaime Fernández, Jose van den IJssel

Research article  
**Automatic mileage positioning for road inspection using binocular stereo vision system and global navigation satellite system**  
 Automation in Construction, February 2023  
 Wenting Luo, Yong Qin, ... Lin Li

Figura 19: *Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos ScienceDirect*

Fuente: Elaboración propia

PORTUGUÉS ENGLISH

SciELO

(year\_cluster:(global navigation satellite systems)) AND (year\_cluster:(2015)) AND (2023)

Añadir un campo +

Ordenar por Publicación - Más nuevos primero

Resultados: 1

#2 (year\_cluster:(global navigation satellite systems)) AND (year\_cluster:(2015)) AND (2023)

1.  Validez de Constructo y Confiabilidad del Cuestionario de Creencias Epistemológicas sobre la Matemática en Alumnos de Secundaria Básica  
 VIZCAINO ESCOBAR, ANNIA ESTHER ; MANZANO MIER, MAYRA ; CASAS CARDOSO, GLADIS   
 Revista Colombiana de Psicología Jul 2015, Volumen 24 N° 2 Páginas 301 - 316  
 Resumen: > ES > EN > PT | Texto: ES EN PT | PDF: ES | PDF: EN | PDF: PT  
<https://doi.org/10.15446/rcp.v24n2.43974> 3189 descargas

Figura 20: *Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos SciELO*

Fuente: Elaboración propia

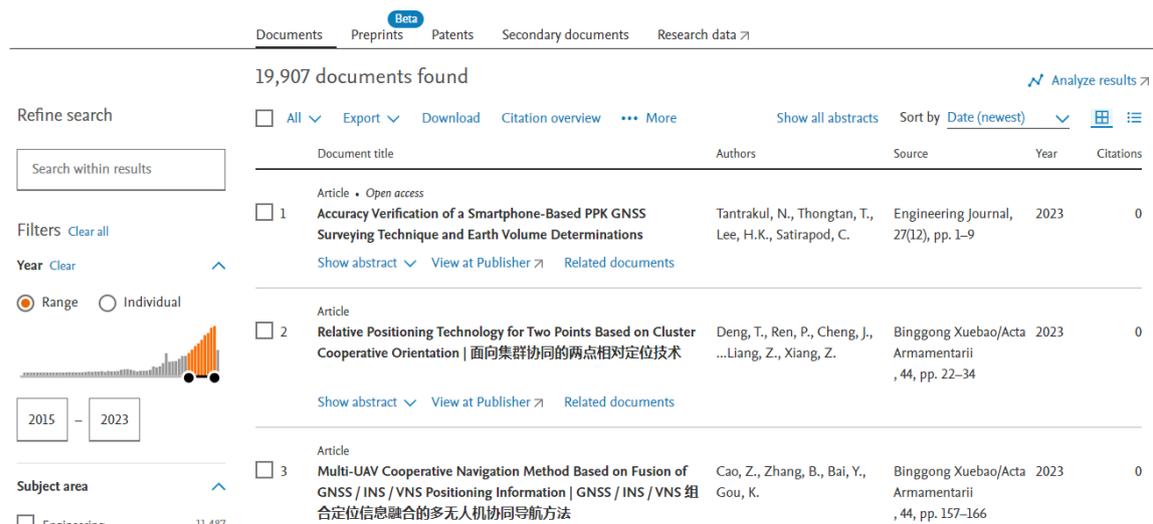


Figura 21: *Búsqueda de los artículos entre el año 2015 al 2023 de la base de datos Scopus*

**Fuente:** Elaboración propia

Paso 1: Identificación. En esta primera etapa se realizó una búsqueda de artículos SciELO, IEEE Xplore, Science Direct y Scopus para encontrar literatura relacionada con el uso de sistemas global de navegación por satélite. En este paso, se encontraron 60 artículos aplicando la búsqueda lógica en los títulos, resúmenes y palabras clave.

Paso 2: Proyectados: En esta segunda etapa se excluyeron 20 artículos, algunos repetidos y otros no relevantes para el tema de investigación, quedando solo 40 artículos relevantes sobre sistemas global de navegación por satélite.

Paso 3: Seleccionados. En la tercera etapa se revisaron títulos y resúmenes. Se omitieron 10 artículos que no estaban relacionados con mostrar resultados obtenidos, por lo que los 30 artículos restantes se descargaron para su posterior análisis.

Paso 4: Incluidos. Después de analizar los artículos descargados, se descartaron 10 artículos por no estar relacionados con el tema central de esta investigación que es comparar sistemas global de navegación por satélite sino que también comparan técnicas de sistemas de navegación por satélite. Por tanto, el estado del arte consta de 20 artículos escritos en

idioma inglés y español sobre el uso de la inteligencia artificial en el desarrollo de asistentes inteligentes y su implementación en la administración pública, publicados entre los años 2015 - 2023.

## **2.2. Plan de investigación**

### **2.2.1. Interrogantes de la Investigación**

Su objetivo es brindar respuesta a las preguntas; en este trabajo de investigación y son:

PREG 1. ¿Cuántos artículos sobre los sistemas global por navegación por satélite que se han publicado entre el 2015 al 2023?

PREG 2. ¿Cuáles son los sistemas global de navegación por satélite?

PREG 3. ¿Qué sistemas global de navegación por satélite se usan frecuentemente?

PREG 4. ¿Qué tipo de problemas abordan los estudios de sistemas global de navegación por satélite?

### **2.2.2. Protocolo de revisión**

Es el criterio para buscar y posteriormente se clasifican los artículos científicos relacionados al tema, para ello nos sustentamos al número de citas de los artículos.

### **2.2.3. Validación del Protocolo de revisión**

Las búsquedas se enfocan en revisiones sobre el protocolo y brindar respuestas a las preguntas de investigación.

### III. RESULTADOS

El análisis de resultados se realiza teniendo en consideración la revisión de los artículos científicos encontrados, que están basados en las preguntas planteadas en el capítulo anterior.

#### 1. Pregunta N° 1, ¿Cuántos artículos sobre los sistemas global por navegación por satélite que se han publicado entre 2015 al 2023?

La cantidad de artículos que hace referencia a los Sistemas Global de Navegación por Satélite es variada y a la vez un poco limitada en los últimos años. Esto a pesar de que al aplicar los Sistemas Global de Navegación por Satélite se considera como una característica importante.

Tabla 2: *Resultado de la búsqueda de artículos*

Año	Cantidad
2016	6
2017	1
2018	1
2019	2
2020	5
2022	3
2023	1
2024	1

**Fuente:** *Elaboración propia*

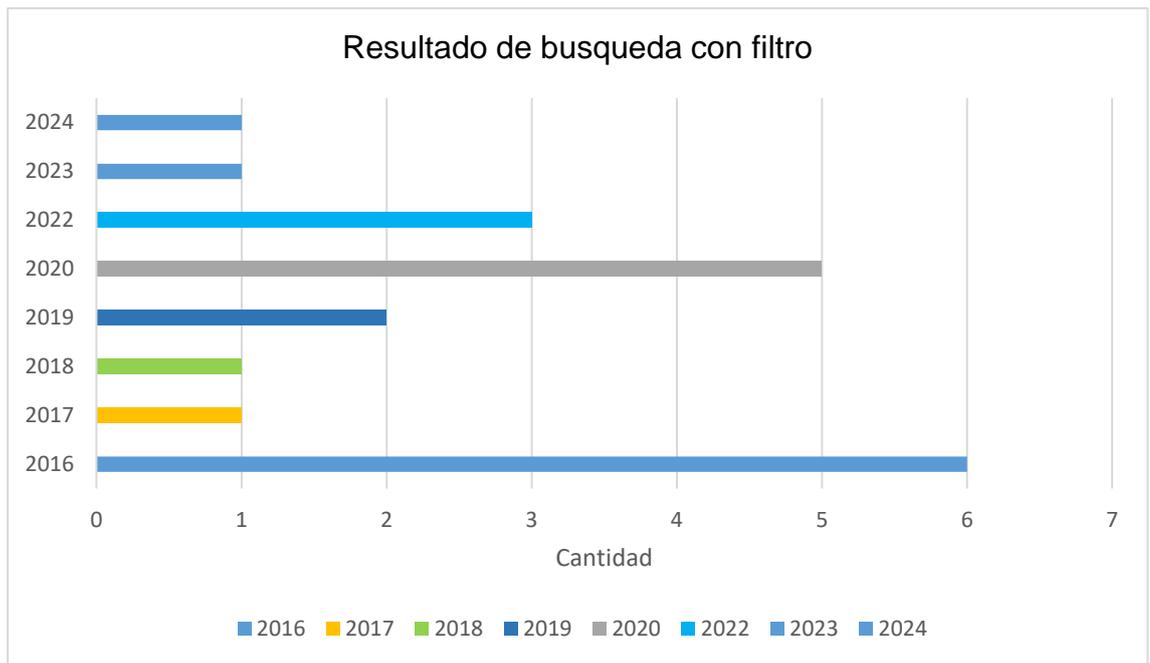


Figura 22: *Cantidad de artículos por año*

**Fuente:** Elaboración propia

Se muestra en la figura la importancia de los Sistemas Global de Navegación por Satélite ya que continuamente realizan estudios en los últimos ocho años. Sin embargo, hay pocos autores que se han enfocado estos últimos años en compararlos entre sí mediante indicadores estadísticos.

**2. Pregunta N° 2, ¿Cuáles son los sistemas global de navegación por satélite?**

Realizando un análisis del material literario se ha encontrado que diferentes autores utilizan o proponen diferentes metodologías para implementar o comparar sistemas globales de navegación por satélite.

Tabla 3: Tipos que son utilizados por autores

<b>Nº</b>	<b>Autores</b>	<b>Sistemas Global de Navegación por Satélite</b>
<b>01</b>	Tan Truong-Ngoc; Ali Khenchaf; Fabrice Comblet; Pierre Franck; Jean-Marc Champeyroux; Olivier Reichert	GPS - NAVSTAR, GLONASS y Galileo
<b>02</b>	Olga K. Mikhaylova Department of Radio Systems, National Research University "MPEI", Moscow, Russian Federation; Ilya V. Korogodin; Ivan V. Lipa	GLONASS y GPS - NAVSTAR
<b>03</b>	Yuliya Averyanova; Oleksandr Kutsenko; Valeriy Konin	GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDOU
<b>04</b>	Eddy Trinklein, Gordon Parker	Combinación de múltiples receptores GPS
<b>05</b>	Gabriel Oliveira Jerez, Daniele Barroca Marra Alves	Posicionamiento de puntos GPS, GLONASS
<b>06</b>	Butun, Saffet Vatansever and Ismail	GPS Diferencial (DGPS)
<b>07</b>	Sarah Law, Charles Corwin, Steve Sorensen, Walid AlMasyabi, Jabari Loving	GPS OCX
<b>08</b>	Deep, Akash; Mittal, Monika; Mittal, Vikas	Filtro de Kalman (FK)
<b>09</b>	Qiang Li, Ranyang Li, Kaifan Ji, Wei Dai	Filtro de Kalman Extendido (EKF)
<b>10</b>	JaeHyok Kong, Xuchu Mao; Li, Shaoyuan	Filtro de Kalman Sin Perfume (UKF)

<b>11</b>	Ernesto M. Lopez, Santiago Rodriguez, Javier G. Garcia, Carlos H. Muravchik	Posicionamiento de Punto Preciso (PPP)
<b>12</b>	Piotr Kaniewski, Rafal Gil, Stanistaw Konatowski	Estimación de PVT Cinemáticos
<b>13</b>	Gabriel Oliveira Jerez, Daniele Barroca Marra Alves	Análisis de Uso de Datos de GPS, GLONASS
<b>14</b>	Thales M. de A. Silva, Grégory de O. Mayrink, Domingos S. M. Valente, Daniel M. Queiroz	Integración de un sistema de navegación global utilizando Filtro de Kalman
<b>15</b>	Lester de Abreu Faria, Caio Augusto de Melo Silvestre, Marcelino Aparecido Feitosa Correia	Seguridad y Vulnerabilidad en los receptores del GPS NAVSTAR
<b>16</b>	Cheng Hui Yang, Yi Shuang Zhang	Arquitectura de la plataforma IoT Middleware basada en BEIDOU
<b>17</b>	Islam Ashour, Mohamed El Tokhey, Yasser Mogahed, Ahmed Ragheb	Rendimiento de GLONASS, GALILEO, BEIDOU
<b>18</b>	Xuewen Gong, Wanwei Zhang, Qingyun Wang, Fuhong Wang, Xingxing Li, Jizhang Sang, Wanke Liu	Navegación precisa en tiempo real del pequeño satélite Tianjin University-1 (TJU-1) basada en GPS, GLONASS, BEIDOU
<b>19</b>	Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sońnica	Evaluación del impacto de las estrategias de modelado orbital en la precisión de las predicciones orbitales a corto plazo GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou-3, (BDS-3) y QZSS
<b>20</b>	Yu Han, Fangjun Qin, Xugang Lian b, Shengliang Wang, Leiyuan Qian, Wenhua Huang	Rendimiento de la estrecha combinación de señales de frecuencias mixtas GPS, BDS, GALILEO y QZSS

**Fuente:** Elaboración propia

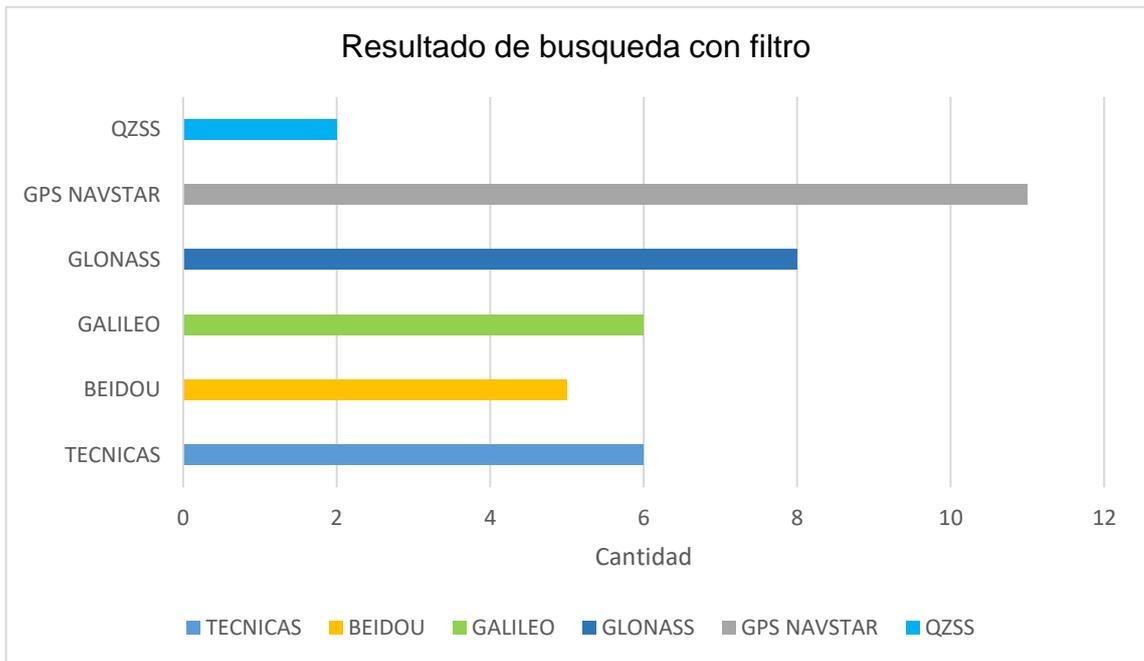


Figura 23: *Cantidad de Sistemas Global de Navegación por Satélite y Técnicas que son utilizados por autores*

**Fuente:** Elaboración propia

Se muestra en la figura la cantidad de los Sistemas Global de Navegación por Satélite que son utilizados frecuentemente como fuente de estudio por los autores, sin embargo, hay algunos sistemas que no son utilizados en todo el mundo ya que algunos han sido creados para un país o territorio específico lo que limita utilizar todos los sistemas global de navegación por Satélite.

**3. Pregunta Nº 3, ¿Qué sistemas global de navegación por satélite se usan frecuentemente?**

Tabla 4: Tipos de sistemas globales de navegación por satélite con mayor frecuencia

	Cantidad
GPS NAVSTAR	11
GLONASS	8
Agrupamiento de técnicas	6

**Fuente:** Elaboración propia

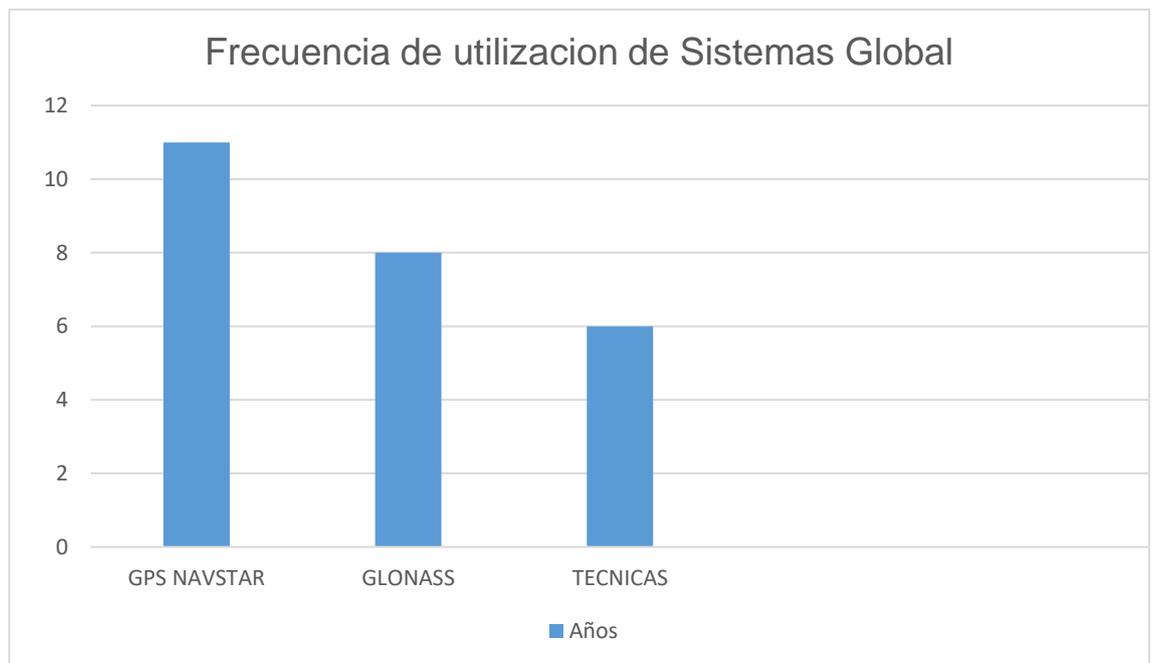


Figura 24: *Frecuencia de utilización de tipos*

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, los tipos que se han usado con mayor frecuencia, en base a la revisión de los artículos encontrados y los más utilizados son: GPS-NAVSTAR y GLONASS. Pero hay que tener en cuenta que estos tienen más satélites a nivel mundial en comparación a los otros sistemas por lo que permite tener más estudios en estos dos sistemas de navegación por satélite.

#### 4. Pregunta N° 4, ¿Qué tipo de problemas abordan los estudios de sistemas global de navegación por satélite?

Realizando un análisis de los trabajos de investigación encontrados, los distintos autores señalan que existen determinados problemas, siendo algunos de ellos los mostrados a continuación.

Tabla 5: Problemas abordados por artículos

N°	Autores	Problemas
01	Tan Truong-Ngoc; Ali Khenchaf; Fabrice Comblet; Pierre Franck; Jean-Marc Champeyroux; Olivier Reichert	La falla múltiples en las señales de los satélites lo cual impacta negativamente en la determinación de la posición del usuario.
02	Olga K. Mikhaylova Department of Radio Systems, National Research University "MPEI", Moscow, Russian Federation ; Ilya V. Korogodin; Ivan V. Lipa	Las señales GNSS se modulan mediante varios códigos de alcance por lo cual cualquier receptor de navegación debe generar diferentes códigos provocando pluralismo de código es decir multiplicidad de generadores y la complejidad adicional del canal receptor.
03	Yuliya Averyanova; Oleksandr Kutsenko; Valeriy Konin	La inmunidad al ruido de los aparatos de navegación del usuario.
04	Deep, Akash; Mittal, Monika; Mittal, Vikas	La motivación de utilizar un algoritmo que minimice los errores y proporcione la solución de determinación de posición más precisa.

05	Ernesto M. Lopez, Santiago Rodriguez, Javier G. Garcia, Carlos H. Muravchik	Problemas en los algoritmos PPP por lo que se realizó una revisión, en orden de importancia, de los efectos y modelos que se implementan en nuestros algoritmos PPP, así como una estimación del orden de magnitud de las correcciones cuando se aplican a las mediciones.
06	Gabriel Oliveira Jerez, Daniele Barroca Marra Alves	El desempeño del posicionamiento de puntos de datos GPS/GLONASS considerando regiones brasileñas con comportamiento ionosférico diferente durante períodos de baja y alta actividad ionosférica.
07	Qiang Li, Ranyang Li, Kaifan Ji, Wei Dai	Un algoritmo que utiliza una serie de datos observados a lo largo del tiempo, que contiene ruido y otras imprecisiones, para estimar variables desconocidas con mayor precisión y estimación óptima, tiene méritos en tiempo real, anti-interferencia rápida, eficiente y fuerte, se aplica ampliamente en los campos de cálculo de órbita espaciales, seguimiento de objetivos y navegación de maniobra y posicionamiento de GPS.
08	Lester de Abreu Faria, Caio Augusto de Melo Silvestre, Marcelino Aparecido Feitosa Correia	Seguridad y vulnerabilidad de aplicaciones en señales GPS NAVSTAR

09	Thales M. de A. Silva, Grégory de O. Mayrink, Domingos S. M. Valente, Daniel M. Queiroz	Existen módulo GNSS a un costo alto para obtener datos de navegación siendo una gran dificultad obtener este tipo de tecnología.
10	Eddy Trinklein, Gordon Parker	Los errores del GPS pueden ser un factor limitante en ciertas situaciones. Si bien existen sistemas GPS de precisión de nivel centimétrico, estos sistemas son típicamente 100-300 veces más caros que los receptores estándar y requieren una configuración de parámetros extensa para funcionar.
11	JaeHyok Kong, Xuchu Mao; Li, Shaoyuan	GNSS son la base de cualquier sistema de navegación autónomo avanzado en diferentes dominios y son sistemas de detección de tiempo y posición que incluyen un conjunto de satélites para triangulación. Los sistemas de más frecuentes son GPS y GLONASS y con poca frecuencia son el Compass y el Galileo.
12	Gabriel Oliveira Jerez, Daniele Barroca Marra Alves	El posicionamiento considerando diferentes condiciones ionosféricas en GPS NAVSTAR Y GLONASS
13	Piotr Kaniewski, Rafal Gil, Stanistaw Konatowski	La falta de sincronismo de un reloj receptor de GPS de relativamente baja calidad con relojes de alta precisión instalados en satélites, tanto Pseudorangos como rangos delta contienen componentes significativos conectados con los errores de reloj.

14	Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sońnica	El impacto de las estrategias de modelado orbital en la precisión de las predicciones orbitales a corto plazo en GPS NAVSTAR, GALILEO, GLONASS, BEIDOU-3 Y QZSS
15	Mattos, Everson; Petry, Adriano; Kulman, Denilson; Padilha, Franciele dos Santos; Hollweg, Guilherme	Los fenómenos ionosféricos y atmosféricos, son de naturaleza caótica, son difíciles de predecir, y su estudio requiere una gran cantidad de observaciones, de diferentes instrumentos de medición
16	Selcuk Sahin, Abdellatif Baba; Sonmez, Tolga	En el principio básico del posicionamiento GNSS independiente es tomar la distancia observada entre el satélite GNSS y la antena del receptor del usuario como punto de referencia, que se basa en las coordenadas de los satélites instantáneos conocidos, para determinar la posición de la antena del receptor del usuario correspondiente.
17	Xuewen Gong, Wanwei Zhang, Qingyun Wang, Fuhong Wang, Xingxing Li, Jizhang Sang, Wanke Liu	Mejorar significativamente la precisión, confiabilidad y disponibilidad de la navegación en tiempo real.
18	Yu Han, Fangjun Qin, Xugang Lian, Shengliang Wang, Leiyuan Qian, Wenhua Huang	La intercambiabilidad y la interoperabilidad compatible entre los sistemas globales de navegación por satélite no pueden realizarse. Al mismo tiempo, si los satélites visibles disminuye abruptamente, el rendimiento de posicionamiento se deteriora drásticamente.

19	Cheng Hui Yang, Yi Shuang Zhang	Posicionamiento, comunicación y funciones que brinda BEIDOU implementado en una plataforma.
20	Islam Ashour, Mohamed El Tokhey, Yasser Mogahed, Ahmed Ragheb	Dependiendo de una sola constelación puede no ser suficiente para garantizar una precisión de posicionamiento exitosa en cualquier momento.

**Fuente:** Elaboración propia

Según lo mostrado en la tabla anterior, uno de los problemas en común que enfrentan estos estudios es que existe una dificultad para determinar cuál es el sistema global de navegación por satélite que es el más adecuado a utilizar. Esto debido a la existencia de varios sistemas global, y a la poca evidencia de la literatura sobre cuál es el sistema a utilizar. Además, otro de los problemas es que no solo puedes seleccionar un sistema solamente, sino que también puedes agrupar estos. Finalmente se señalan otros problemas como: demasiada información que se encuentran en sitios web, libros y más, lo que confunde a la comunidad de poder seleccionar el tipo de sistema global de navegación por satélite adecuado.

#### **IV. CONCLUSIONES**

Apoyado del plan de investigación nos permitió realizar la revisión bibliográfica, que nos brinda una revisión más actualizada de los sistemas global de navegación por satélite. Además, se indica que el uso de estos sistemas global de navegación nos sirve como plantilla que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, o una nave con una precisión hasta de centímetros.

Al desarrollar el procedimiento de investigación encontramos que los sistemas global de navegación por satélite nos ofrecen una gran alternativa para lograr una mejor precisión al ubicar diferentes objetos. Al tener variedad de estos tipos nos llevan a la confusión, por lo que se tiene que tener claro lo que se va a desarrollar.

Según la documentación de la investigación que se basaron en revisiones bibliográficas echas, se ha podido fijar que los sistemas global de navegación por satélite que se han utilizado con más regularidad son: GPS – NAVSTAR y GLONASS.

Se requiere emplear los sistemas global de navegación por satélite revisados a través de nuevos casos de estudios, que nos permita generalizar diferentes resultados.

#### **V. RECOMENDACIONES**

Debido a la variedad de sistemas global de navegación por satélite, por el momento no hay una opción adecuada a utilizar por lo que debemos estar informados sobre las formas y resultados de diferentes sistemas, la cual sirva como orientación para posteriores estudios.

## VI. REFERENCIAS

- [1] T. Truong-ngoc, P. Franck, and O. Reichert, "Robust GPS / Galileo / GLONASS Data Fusion Using Extended Kalman Filter," pp. 6–9, 2020.
- [2] O. K. Mikhaylova, I. V. Korogodin, and I. V. Lipa, "Universal ranging code generator of GLONASS and GPS open navigation signals," *Proc. 2nd 2020 Int. Youth Conf. Radio Electron. Electr. Power Eng. REEPE 2020*, pp. 1–5, 2020.
- [3] Y. Averyanova, O. Kutsenko, and V. Konin, "Interference Suppression at Cooperative Use of GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU," *2020 IEEE Ukr. Microw. Week, UkrMW 2020 - Proc.*, pp. 44–48, 2020.
- [4] A. Deep, M. Mittal, and V. Mittal, "Application of Kalman Filter in GPS Position Estimation," *8th IEEE Power India Int. Conf. PIICON 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [5] E. M. Lopez, S. Rodriguez, J. G. Garcia, and C. H. Muravchik, "Performance comparison of Precise Point Positioning using real-time oriented GNSS products," *2019 Argentine Conf. Electron. CAE 2019*, pp. 52–57, 2019.
- [6] Z. Wu *et al.*, "An applied research of improving Kalman filter in dual mode navigation," *Proc. 29th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2017*, no. 2015, pp. 3977–3982, 2017.
- [7] Q. Li, R. Li, K. Ji, and W. Dai, "Kalman filter and its application," *Proc. - 8th Int. Conf. Intell. Networks Intell. Syst. ICINIS 2015*, no. 10, pp. 74–77, 2016.
- [8] D. K. Schrader, B. C. Min, E. T. Matson, and J. Eric Dietz, "Real-time averaging of position data from multiple GPS receivers," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 90, pp. 329–337, 2016.

- [9] L. Sun and J. Liu, "Research on application of GNSS in vertical control survey," *2016 Prog. Electromagn. Res. Symp. PIERS 2016 - Proc.*, vol. 3644, no. 2, pp. 3644–3647, 2016.
- [10] E. Trinklein and G. Parker, "Combining multiple GPS receivers to enhance relative distance measurements," *2013 IEEE Sensors Appl. Symp. SAS 2013 - Proc.*, pp. 33–37, 2013.
- [11] J. H. Kong, X. Mao, and S. Li, "BDS/GPS dual systems positioning based on the modified SR-UKF algorithm," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 5, 2016.
- [12] A. B. Anquela, A. Martín, J. L. Berné, and J. Padín, "GPS and GLONASS Static and Kinematic PPP Results," *J. Surv. Eng.*, vol. 139, no. 1, pp. 47–58, 2013.
- [13] P. Kaniewski, R. Gil, and S. Konatowski, "Algorithms of Position and Velocity Estimation in GPS Receivers," *Annu. Navig.*, vol. 23, no. 1, pp. 53–68, 2017.
- [14] A. Tian, D. Dong, D. Ning, and C. Fu, "GPS single point positioning algorithm based on least squares," *Proc. - 6th Int. Symp. Comput. Intell. Des. Isc. 2013*, vol. 2, no. 4, pp. 16–19, 2013.
- [15] E. Mattos, A. Petry, D. Kulman, F. D. S. Padilha, and G. Hollweg, "Estimação Do Conteúdo Eletrônico Total Da Ionosfera Utilizando Geoestatística," *Ciência e Nat.*, vol. 37, no. 3, pp. 107–114, 2015.
- [16] S. Şahin, A. Baba, and T. Sönmez, "Optimal fusion of multiple GNSS signals against spoofing sources," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 4, pp. 3289–3299, 2017.
- [17] S. Kram, I. Lukcin, C. Nickel, and J. Seitz, "Universal Kriging of RSS Databases in a Bayesian Filter," *2018 21st Int. Conf. Inf. Fusion, FUSION 2018*, no. 1, pp. 1720–1725, 2018.

- [18] S. Vatansever and I. Butun, "A broad overview of GPS fundamentals: Now and future," *2017 IEEE 7th Annu. Comput. Commun. Work. Conf. CCWC 2017*, 2017.
- [19] D. Jones, I. Sutherland, and T. Tryfonas, "Global positioning systems: Analysis principles and sources of evidence in user devices," *Proc. - 3rd Int. Annu. Work. Digit. Forensics Incidents Anal. WDFIA 2008*, pp. 30–39, 2008.
- [20] A. Pozo Ruz, A. Ribeiro, M. C. García-Alegre, L. García, D. Guinea, and F. Sandoval, "Sistema De Posicionamiento Global (Gps): Descripción, Análisis De Errores, Aplicaciones Y Futuro," *ETS Ing. Telecomunicaciones. Univ. Malaga*, p. 174, 2000.
- [21] J. Tomaszewska, M. Woch, J. Krzyszkowski, and M. Zieja, "Comparative analysis of vitality of GPS and GLONASS satellite systems," vol. 43, pp. 57–62, 2019.
- [22] R. Idrees and S. A. Butt, "Design and hardware implementation of the code and carrier tracking block for an inter-operable GNSS receiver," *12th Annu. IEEE Int. Syst. Conf. SysCon 2018 - Proc.*, pp. 1–7, 2018.
- [23] N. R. Rameez Ahmed Malik , Mohammad Yousaf Khan, Ghulam Jaffer, "Cost-effective and novel regional navigation system using HEO/GEO and GEO/IGS Constellations." 2018.
- [24] S. Law, C. Corwin, S. Sorensen, W. Al Masyabi, and J. Loving, "Case study on the benefits of an operational concept demo for GPS OCX," *10th Annu. Int. Syst. Conf. SysCon 2016 - Proc.*, 2016.
- [25] M. Pistarelli, T. Pire, and E. Kofman, "Caracterización de un Sistema GPS RTK de Bajo Costo," *Rev. Tecnol. y Cienc.*, vol. 94, no. 35, pp. 94–107, 2019.

- [26] A. Tierra, O. Silva, and C. Leiva, "Correcciones diferenciales vía NTRIP para dispositivo móvil con aplicación android," *Bol. Ciencias Geod.*, vol. 21, no. 1, pp. 43–55, 2015.

NOMBRE DEL TRABAJO

**LIMO\_RUIZ\_ARTURO\_GABRIEL\_INFORM  
ECOMPLETO para turnitin.docx**

RECUENTO DE PALABRAS

**10656 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**57375 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**55 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 1, 2024 8:42 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 1, 2024 8:43 AM GMT-5**

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado