



Revista Perspectivas en Inteligencia

Revista Científica en Ciencias Sociales e Interdisciplinaria

Bogotá D.C., Colombia

ISSN: 2145-194X (impreso), 2745-1690 (en línea)

Página Web: <https://revistascedoc.com/index.php/pei>

Desarrollo de un sistema de nivelación de antenas HF en terrenos irregulares en Colombia

Autores:

Diana Patricia Gómez Vargas

<https://orcid.org/0000-0002-5064-5822>

Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia

✉ asesoriasmetodologicasdg@gmail.com

Diego Arley Velosa Castañeda

<https://orcid.org/0000-0003-0104-4673>

Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia

✉ diegovelosa@gmail.com

Juan Wilfredo Pinto Uribe

<https://orcid.org/0000-0003-4193-6502>

Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia

✉ jpintou@imi.mil.co

Julián Camilo Guevara Cardona

<https://orcid.org/0000-0002-2854-6430>

Institución Universitaria Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia

“BG. Ricardo Charry Solano”

✉ julian.guevara@esici.edu.co

Citación APA: Gómez Vargas, D. P., Velosa Castañeda, D. A., Pinto Uribe, J. W., & Guevara Cardona, J. C. (2023). Desarrollo de un sistema de nivelación de antenas HF en terrenos irregulares en Colombia. *Perspectivas en Inteligencia*, 15(24), 365-398. <http://doi.org/10.47961/2145194X.661>

Publicado en línea: 2023

Los artículos publicados por la Revista Científica *Perspectivas en Inteligencia* son de acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons: Atribución - No Comercial – Sin Derivados**.



Para enviar un artículo:

<https://revistascedoc.com/index.php/pei/about/submissions>



Desarrollo de un sistema de nivelación de antenas HF en terrenos irregulares en Colombia¹

Development of an HF antenna leveling system for
irregular terrain in Colombia

**Diana Patricia Gómez Vargas¹, Diego Arley Velosa Castañeda²,
Juan Wilfredo Pinto Uribe³ y Julián Camilo Guevara Cardona^{4*}**

-
- (1) Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia, Facatativá, Colombia,
✉ asesoriasmetodologicasdg@gmail.com
- (2) Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia, Facatativá, Colombia,
✉ diegovelosa@gmail.com
- (3) Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia, Facatativá, Colombia,
✉ jpintou@imi.mil.co
- (4) Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia “BG. Ricardo Charry Solano”, Bogotá, D. C., Colombia,
✉ julian.guevara@esici.edu.co

* Autor a quien se dirige la correspondencia

Resumen

Los campos de antenas utilizados en la banda de alta frecuencia (*High Frequency*) son esenciales para la ejecución de operaciones de radiogoniometría y tácticas de Guerra Electrónica (*Electronic War*) en inteligencia de señales. Estos sistemas requieren en sus bases estructurales alta precisión de nivelación y estabilidad para optimizar y garantizar los enlaces de comunicación. La implementación de cada soporte y la preparación del área de anclaje requieren de altos presupuestos y costos por obra civil, puesto que las áreas donde se distribuyen y configuran son lugares topográficamente irregulares y de difícil acceso. La siguiente investigación se llevó a cabo con el fin de desarrollar un prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas de alta frecuencia. Se aplicó

¹ El presente artículo es el resultado de un producto de investigación de un proyecto de desarrollo tecnológico del grupo de investigación del Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación de Inteligencia - BAIDI.

una investigación mixta (cualitativa y cuantitativa) de enfoque descriptivo para el diseño y desarrollo del prototipo denominado Keops, una alternativa que brinda robustez y eficiencia para estabilizar de forma práctica y segura cada antena en superficies irregulares, con la ventaja de ser una estructura de fácil transporte y con la disposición mecánica diseñada para tal fin. Además, se reducen los costos de adecuación, implementación o traslado de los sistemas de antenas de alta frecuencia, puesto que no se incurre en anclajes o estructuras que requieran nivelación o aplanamiento del terreno con bases fundidas en concreto u otro tipo de materiales.

Además se desarrolló una revisión teórica de varios conceptos claves relacionados con la radiogoniometría y con los campos de antenas HF. Esto para dar a conocer cuáles son las necesidades de contar con un desarrollo de un prototipo de estas características para el Ejército Nacional de Colombia.

Clasificación JEL: L96, O3.

Palabras clave: Antena; comunicación; campo de antenas; soporte; nivelación; topografía irregular.

Abstract

The antenna fields used in the high frequency band are essential for the execution of tactical direction-finding operations of Electronic Warfare in signals intelligence. These systems require in their structural bases high leveling accuracy and stability to optimize and guarantee communication links. The implementation of each support and preparation of anchorage area requires high budgets and costs for civil works, since areas where they are distributed and configured are topographically irregular and difficult to access. The present study was carried out in order to develop a prototype of mechanical support for high frequency antennas leveling. Mixed research (qualitative and quantitative) of descriptive approach was applied to design and development of prototype called Keops, an alternative that provides robustness and efficiency to stabilize in a practical and safe way each antenna on irregular surfaces, with the advantage of being an easily transportable structure and with mechanical arrangement designed for that purpose. In addition, costs of adaptation, implementation or relocation of high frequency antenna systems are reduced, since there is no need for anchorages or structures that require leveling or flattening of the ground with concrete or other types of materials.

However, a theoretical review of several key concepts related to direction finding and HF antenna fields was developed. This is to make known what the needs are for developing a prototype of these characteristics for the Colombian National Army.

Keywords: Antenna; communication; antenna field; support; leveling; irregular topography.

Introducción

El Ejército Nacional de Colombia, entre sus diferentes funciones, tiene como misión realizar monitoreo del espectro radioeléctrico en las bandas de Alta frecuencia (HF), Muy Alta Frecuencia (VHF), y Ultra Alta Frecuencia (UHF), este proceso es realizado en zonas donde hay presencia de cultivos ilícitos, tráfico de estupefacientes, minería ilegal, terrorismo, desplazamiento forzado, entre otras actividades ilegales realizadas por grupos armados al margen de la ley. Esto con el fin de llevar a cabo operaciones militares orientadas a defender la soberanía, garantizar la integridad territorial, proteger a la población civil y los recursos privados y estatales, para así contribuir a generar un ambiente de paz, seguridad y desarrollo, que garantice el orden constitucional.

El Batallón de Investigación, Desarrollo e Innovación (BAIDI) realiza el diseño, fabricación e implementación de herramientas destinadas a garantizar la correcta ejecución de dichas operaciones y, para ello, un aspecto importante es asegurar que todos los componentes y elementos usados durante el proceso de desarrollo de los proyectos sean de óptima calidad y cuenten con las características adecuadas para operar en las diferentes áreas establecidas y bajo condiciones adversas, ya sea por las variaciones topográficas, las inclemencias del tiempo, las manipulaciones del usuario, entre otros factores.

Es por esto que, específicamente, para ejecutar actividades de monitoreo de señales de comunicación ilegales o provenientes de fuentes irregulares, se debe asegurar que las antenas de equipos especializados destinados y configurados para tal fin cuenten con sistemas mecánicos que permitan el correcto anclaje, nivelación y alineación en cualquier clase de terreno, para garantizar la recepción de información.

Los soportes diseñados para la instalación de las antenas de comunicación cumplen con requisitos específicos para brindar el adecuado apoyo y sostenimiento de cada elemento. En el caso de los campos de antenas, configurados actualmente para trabajar como sensores de los equipos de radiogoniometría, las bases de anclaje son preparadas previamente para brindar altura y nivel deseados, en muchas ocasiones con altos costos en obra civil para la adecuación de los terrenos. Por ende, el prototipo soporte mecánico KEOPS busca reducir los presupuestos de instalación y mantenimiento de estos campos, facilitando la selección de las áreas de implementación, puesto que permite fijar y adaptar las antenas en superficies irregulares con la garantía de mantener la estabilidad requerida para el correcto funcionamiento del sistema.

Así como se mencionó anteriormente, se aplicó una investigación mixta (cualitativa y cuantitativa) de enfoque descriptivo; como lo menciona Guevara (2020), el objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Por lo que se darán a conocer cuáles fueron las actividades y

procedimientos para el desarrollo de este prototipo, igualmente la aplicación de una investigación mixta se realiza por la necesidad de poder trabajar con datos y cifras desde la metodología y desarrollo del prototipo con un enfoque cuantitativo; así mismo, debido a la conceptualización teórica planteada por la necesidad y la aplicabilidad del proyecto, se utiliza el enfoque cualitativo.

Contextualización

Con el fin de lograr una aproximación teórica y conceptual de los aspectos abordados en el presente artículo, se realiza una serie de recopilación de antecedentes, conceptos relacionados a la temática de investigación y variables teóricas que enmarcan el alcance de la investigación.

Diferentes aplicaciones de los sistemas de radio se basan en la implementación de conjuntos de antenas. Clásicamente, la radiogoniometría funcionaba con un sistema de recepción multicanal conectado a un conjunto de antenas receptoras. Actualmente se han propuesto arquitecturas MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*) o lo que traduce Múltiple Entrada - Múltiple Salida, para aumentar la capacidad de los radioenlaces mediante el uso de conjuntos de antenas tanto en el transmisor como en el receptor (Sánchez et al., 2015).

Según Hernández (2014), el espectro electromagnético se ha utilizado para aplicaciones comerciales y militares durante más de un siglo. A medida que las operaciones militares y en el campo de batalla dependen cada vez más del espectro electromagnético para las comunicaciones, los objetivos y la defensa, la guerra electrónica se ha vuelto cada vez más crítica para el éxito de las campañas militares.

La guerra electrónica² (EW) utiliza el espectro electromagnético para atacar o impedir al enemigo o para frustrar sus ataques. Algunos ejemplos son la interceptación, el secuestro o la interferencia de señales de radiocomunicación y radar, e incluso el uso de radiaciones de energía dirigida para causar daños (Galindo Mier, 2020).

Al igual que las fuerzas amigas aprovechan el espectro electromagnético en su beneficio, los enemigos lo aprovechan para amenazar sus operaciones. La amenaza se ve agravada por el crecimiento del mundo inalámbrico y el uso cada vez más sofisticado de tecnologías comerciales disponibles en el mercado.

Así pues, el creciente uso de la EW en la guerra crea la necesidad de una tecnología que pueda superar los recursos del adversario, creando una ventaja de contrainformación

2 “Se denomina Guerra Electrónica a todas las acciones que impliquen el uso de energía electromagnética o estén dirigidas a controlar el espectro electromagnético o atacar al enemigo en ese ambiente operacional” (Chiavaro, 2018).

ofensiva, dificultando su capacidad para hacer la guerra (Herrera, 2017).

Con el creciente papel de la EW en el campo de batalla, los comandantes de unidades militares tienen una necesidad crítica de localizar tácticamente las posiciones de los vigías y puestos de observación enemigos que informan sobre los movimientos tácticos terrestres de las fuerzas amigas, las rutas de las patrullas y la colocación de artefactos explosivos improvisados (IED) por parte del enemigo (Galindo Mier, 2020).

Por ello, desde lo planteado por Herrera (2017), los mandos deben determinar con rapidez y precisión la ubicación exacta de las fuerzas enemigas. Mediante la utilización de tecnologías EW, estas pueden ser localizadas explotando las emisiones de radiofrecuencia de las redes de comunicaciones de mando y control enemigas. Dichas redes de comunicaciones utilizan una variedad de transceptores comerciales y tácticos que pueden ser localizados utilizando tecnología de radiogoniometría.

Radiogoniometría

La radiogoniometría surgió de la necesidad por detectar señales de comunicación con información relevante en operaciones durante la guerra a lo largo de las primeras décadas del siglo XX. Allí se buscaba interceptar las comunicaciones del enemigo y saber desde qué puntos se transmitían para poder anticipar ataques y reducir las amenazas (López, 2021).

De acuerdo con (Hernández, 2014), los sistemas de radiogoniometría son capaces de obtener la orientación hacia fuentes emisoras de ondas electromagnéticas. Además, el avance en técnicas y equipos de radiogoniometría ha mejorado la precisión de la localización de objetivos, el seguimiento de embarcaciones o aeronaves, la disminución de interferencias en los sistemas y la optimización de recursos en operaciones militares, entre muchos otros aspectos (López, 2021).

Sobre su aplicación en operaciones militares, mencionan (Cruz & Piniella, 2018) que la radiogoniometría también tiene aplicaciones en el ámbito civil, como, por ejemplo, en la aviación, la radiogoniometría se utiliza para la navegación aérea y la identificación de aeronaves. Los sistemas de radiogoniometría a bordo de aeronaves, como el VOR (VHF Omnidireccional Range) y el ADF (Automatic Direction Finder), permiten a los pilotos determinar la dirección de una estación de radio terrestre. Esto ayuda en la navegación, el seguimiento de rutas y la aproximación a pistas de aterrizaje. Además se pueden usar sistemas de radioayuda como el DME (Equipo de Medición de Distancia) para calcular la distancia a una estación terrestre (Cruz & Piniella, 2018).

De acuerdo con (Cruz & Piniella, 2015), la radiogoniometría también se utiliza para detectar interferencias electromagnéticas y localizar fuentes de interferencia en entornos como instalaciones industriales y áreas urbanas, es decir, se utilizan sistemas

de radiogoniometría para rastrear fuentes de señales no deseadas que puedan causar interferencias en sistemas de comunicación, equipos electrónicos sensibles o sistemas de seguridad críticos.

El uso de tecnologías y métodos utilizados en la radiogoniometría mejoran la precisión y localización de las fuentes emisoras; dentro de estos podemos encontrar:

1. **Interferometría:** La interferometría es una técnica avanzada utilizada en la radiogoniometría que se basa en la medición de las diferencias de fase entre las señales recibidas en diferentes ubicaciones. Como lo mencionan (Sánchez, y otros, 2015), al combinar la información de múltiples antenas o sensores separados espacialmente se puede determinar con mayor precisión la dirección de llegada de la señal. Esta técnica se utiliza para reducir los errores causados por la geometría y mejorar la resolución angular en la localización de fuentes de señales.
2. **Antenas de Formación de Haces:** Las antenas de formación de haces, también conocidas como antenas direccionales, son esenciales en la radiogoniometría avanzada. Según (Gross, 2015), estas antenas pueden enfocar su sensibilidad en una dirección específica y suprimir las señales provenientes de otras direcciones. Mediante la manipulación de los patrones de radiación de la antena, se puede lograr una mayor sensibilidad en la dirección de interés, mejorando así la precisión de la determinación de la dirección de la fuente emisora (Gross, 2015).
3. **Algoritmos de Procesamiento de Señales:** De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2002), los algoritmos de procesamiento de señales desempeñan un papel crucial en la radiogoniometría moderna. Estos algoritmos analizan las señales recibidas de múltiples antenas para estimar la dirección de llegada de la señal. Algunos de los algoritmos comunes incluyen MUSIC (Clasificación de señales múltiples), ESPRIT (Estimación de parámetros de señal mediante técnicas de invariancia rotacional) y algoritmos basados en el enfoque de máxima verosimilitud. Estos algoritmos aprovechan la información espacial de las señales recibidas para calcular con precisión la dirección de la fuente.

Adicional a lo anterior, Torres et al., (2022) describen el desarrollo de un prototipo funcional para el monitoreo del espectro electromagnético en sistemas de comunicación; dentro de esto se encuentra un vínculo indirecto con la radiogoniometría y la inteligencia estratégica en el contexto de la gestión del espectro radioeléctrico y la mejora de la calidad de las comunicaciones.

La radiogoniometría es la técnica de determinar la dirección de llegada de una señal de radio y se utiliza para localizar fuentes emisoras; dentro de esto, el desarrollo del prototipo para monitorear el espectro electromagnético incluye técnicas relacionadas a la radiogoniometría para identificar las frecuencias ocupadas y las fuentes de interferencias

en el espectro, así como también la supervisión del espectro electromagnético; la radiogoniometría puede ser una de las técnicas utilizadas en el prototipo para identificar y localizar las fuentes de señales en el espectro electromagnético (Andagana, 2008). Esto permitiría una comprensión más clara de cómo se ocupan las distintas frecuencias y dónde se producen interferencias.

Estas tecnologías y métodos avanzados en la radiogoniometría, como la interferometría, las antenas de formación de haces y los algoritmos de procesamiento de señales, trabajan en conjunto para mejorar la precisión y localización de las fuentes emisoras de señales; han transformado la radiogoniometría en una herramienta poderosa en diversas aplicaciones, desde la navegación hasta la detección de interferencias y la seguridad.

En la banda de HF (*High Frequency*), debido a las grandes longitudes de onda, las antenas prácticas utilizadas para radiogoniometría son eléctricamente pequeñas y tienen anchos de banda limitados. Sin embargo, existen plataformas modelo para mejorar considerablemente el rendimiento de un sistema de DF (*Direction Finder*) o buscador de dirección de emisión de algún tipo de comunicación (Ma & Behdad, 2019). Aunque es factible hacer también la detección de señales por la interconexión de dos equipos de radiogoniometría en simultáneo, como lo demuestra un estudio realizado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (Morillo, 2016).

Del mismo modo, diversos factores limitan la precisión de los sistemas de radiogoniometría existentes. Normalmente, las grandes distancias entre los sensores DF y sus objetivos dan lugar a grandes elipses de error que representan una incertidumbre significativa en la localización precisa (Ramos, 2016).

Además, muchos dispositivos portátiles utilizados por las fuerzas enemigas transmiten a niveles de potencia relativamente bajos o pueden estar enmascarados por el terreno, lo que impide que los sistemas de recolección más grandes detecten, intercepten y localicen estos dispositivos. Estos dispositivos existentes ofrecen una funcionalidad de radiogoniometría local limitada y son demasiado grandes e incómodos para su uso sobre el terreno, por lo que se requiere de un sistema de campo que proporcione una capacidad DF táctica portátil y fácil de usar (Liendo, 2021).

Una vez se ha adquirido una comprensión completa de la conceptualización y la significancia que subyacen en el control preciso del espectro electromagnético a través de la técnica de radiogoniometría, particularmente en el contexto del fomento de estrategias en el ámbito de la guerra electrónica, procederemos a examinar detalladamente la interconexión existente entre estos fundamentos y el campo de la inteligencia militar, así como su potencial tanto en términos teóricos como en su puesta en práctica operativa.

La Inteligencia Militar, definida por Barbosa (2016) como la búsqueda, el proceso, el análisis y la difusión de inteligencia de alta calidad para el desarrollo de operaciones militares y la toma de decisiones en niveles tácticos, operacionales y estratégicos, en resumen, es ver lo que no se ve en la superficie, es escuchar lo que no se puede escuchar. Con lo cual es pertinente afirmar que la inteligencia militar debe tener herramientas y técnicas apropiadas para la recolección de información para así generar productos de inteligencia, por lo cual es relevante contar con un acceso eficiente para el control del espectro electromagnético.

A niveles de seguridad nacional la inteligencia le proporciona a los Estados la capacidad de obtener información relevante para la formulación de políticas públicas, entendida como las sucesivas respuestas del Estado o el “régimen político” o del “gobierno de turno” frente a situaciones socialmente problemáticas (Salazar, 1994). Dichas políticas públicas derivadas de la obtención de información mediante inteligencia pueden ser interpretadas como productos de inteligencia, debido a que se generará nuevo conocimiento derivado de la recolección de información. Este conocimiento se emplea para proteger a Estados, organizaciones no estatales y civiles, a pesar de que no toda información es considerada inteligencia, sino que deriva en procesos que buscan minimizar riesgos y reducir impactos que amenacen los intereses de diversas entidades, incluyendo Estados (Hernández, 2021).

Además, la estrategia militar, definida por Zarza (2016) como la aplicación de los recursos militares para contribuir al logro de los objetivos de la Estrategia Nacional mediante el uso efectivo del espectro electromagnético en la guerra electrónica, se ve enormemente enriquecida en términos de seguridad estatal. El uso de técnicas como la búsqueda de direcciones para comprender y controlar las emisiones enemigas le brinda una ventaja significativa. La inteligencia militar se enfoca en desmitificar y usar esta información para identificar ubicaciones enemigas, rutas de comunicación y sistemas críticos. Esta percepción mejorada permite estrategias para explotar las debilidades y neutralizar las capacidades del enemigo, todo de acuerdo con el concepto de “ver lo invisible en la superficie”. Desde un punto de vista estratégico, controlar el espectro magnético significa bloquear o interrumpir las comunicaciones y los sistemas del enemigo, perturbando su coordinación y toma de decisiones. La interferencia selectiva de sus transmisiones confundiría y perjudicaría sus operaciones, proporcionando una ventaja táctica decisiva. Además, la capacidad de falsificar la señal de un enemigo brinda la oportunidad de difundir desinformación y manipular sus acciones.

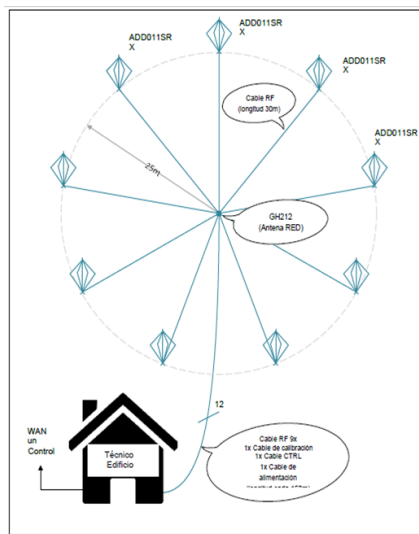
A nivel de seguridad nacional, el conocimiento obtenido de estas tecnologías también puede guiar el desarrollo de políticas para proteger los intereses nacionales. Al comprender las intenciones y capacidades de los adversarios se puede configurar la política pública para mitigar las amenazas potenciales y aumentar la seguridad.

El uso eficaz del espectro electromagnético en la guerra electrónica no solo puede brindar control estratégico sobre el campo de batalla, sino también influir en la formulación de políticas para mantener la seguridad nacional. La capacidad de ocultar información combinada con la capacidad de afectar las comunicaciones enemigas proporciona ventajas significativas a nivel de estrategia militar.

Campos de antenas HF DF (High Frequency Direction Finder)

El campo de antenas de HF DF es un conjunto de antenas configuradas con ciertas especificaciones de espacio y medida para la recepción de altas frecuencias (HF), que van del rango de 300kHz a 30MHz y las cuales son relevantes para el funcionamiento de los radiogoniómetros multicanal (Rohde & Schwarz, 2019), como se ilustra en la Figura 1.

FIGURA 1. Diagrama de un campo de antenas



Fuente: (Proyecto BAIDI, 2022)

Este tipo de configuraciones se presenta en la mayoría de casos técnicos de comunicación MIMO para facilitar la transmisión de datos en paralelo y lograr una tasa de transferencia alta dentro de la misma banda de frecuencia (Gunashekar et al., 2009). Con estos campos de antenas se logra tener un radio de cubrimiento de cada DF de 400 km, con una comunicación de más de 50 Watios de potencia en condiciones ionosféricas óptimas.

Adicionalmente existe una serie de capacidades que se alcanzan con estos sistemas.

1. Marcación de varios blancos simultáneos en el mismo horario.
2. Incremento en la cantidad de vectores por blanco.
3. Mejora la precisión de marcaciones.
4. Control de objetivos asignados.
5. Fortalecimiento de la monitoria mediante la vigilancia en tiempo real de la ubicación del blanco.
6. Fortalecimiento de las estaciones como apoyo directo a operaciones en cada jurisdicción.
7. Cubrimiento blanco externo.

Nivelación de campos de antenas

La nivelación en los campos de antenas es un aspecto importante para establecer un enlace adecuado y óptima recepción de información. Es por esto que garantizar la estabilidad de los soportes de cada antena, tanto en anclaje como en altura, es esencial a la hora de fabricar un soporte que se ajuste a las necesidades y exigencias establecidas por el usuario final.

Como en la mayoría de los proyectos o productos fabricados para desempeñar una función mecánica de soporte, lo primero que se analiza son las características físicas y mecánicas del objeto a sustentar y su respectiva función, con el fin de adaptar el diseño preliminar a la necesidad establecida.

La empresa Rhode Schwartz tiene un diseño de antena Referencia ADD011SR para realizar la implementación de los diferentes campos de HF DF con las siguientes características:

Antena estacionaria y transportable para el rango de frecuencia de 300 kHz a 30 MHz (Rohde & Schwarz, 2020):

- Adecuado para ondas terrestres y ondas aéreas.
- Antena DF multielemento con 9/18 elementos de antena.
- Mediciones de DF con precisión de DF de clase A de la UIT
- Disponible en diferentes diámetros: 50 m con 9 antenas elementos, 100 m con 9 elementos de antena y 150 m con 18 elementos de antena.
- Modelo con 18 elementos de antena en dos círculos concéntricos DF para una sensibilidad DF, especialmente alta y precisa.
- Medición de elevación que permite una sola estación ubicación (SSL) con ángulo de elevación 85° (opcional).

Así pues, al considerar que el problema radica en que la instalación de los soportes

de campos de antenas para la ejecución de operaciones de radiogoniometría requiere de una preparación del área de anclaje con altos presupuestos y costos de obra civil, y que estos no tienen la opción de ser portátiles, la pregunta de investigación que orientó el presente estudio es:

¿Cómo debe ser el sistema para la nivelación de los campos de antenas de los batallones de guerra electrónica EW del Ejército Nacional?

Metodología

El estudio se desarrolló bajo investigación mixta (cualitativa y cuantitativa). De acuerdo con lo expuesto por Hernández Sampieri et al. (2014), utiliza una perspectiva interpretativa centrada en el diseño y desarrollo de un prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas de alta frecuencia, denominado Keops. Proceso en el cual intervienen variables cuantitativas (peso, área de anclaje, variación de altura, desplazamiento horizontal) y cualitativas (materiales de fabricación, variaciones climáticas, condiciones del terreno), y a su vez realiza un proceso deductivo, secuencial, probatorio y de análisis para así hacer un acercamiento a la pregunta de investigación.

Así mismo, se estableció el diseño metodológico resumido en la Tabla 1.

TABLA 1. Diseño metodológico

Fase	Objetivos específicos	Actividades	Técnica de recolección de datos	Metodología
1	Verificar especificaciones técnicas de los actuales soportes de antenas HF	Analizar y documentar las características de los productos disponibles en el mercado.	Revisión documental.	Análisis cualitativo y cuantitativo de datos.
2	Establecer las condiciones del terreno para instalación de soportes de antenas HF	Describir los gradientes máximos y mínimos del terreno para permitir la instalación de soportes de antenas HF	Revisión documental.	Análisis cualitativo y cuantitativo de datos.

<p>3</p>	<p>Diseñar el prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas HF</p>	<p>Realizar <i>benchmarking</i> de soporte instalado actualmente por la empresa Rhode and Schwartz en los campos de antena HF DF Plantear mejoras al soporte, de acuerdo con las características deseadas. Realizar diseño digital del prototipo inicial. Analizar los pros y contras del prototipo inicial y establecer mejoras en el prototipo.</p>	<p>Revisión documental, Cuadro comparativo, Observación pasiva (directa).</p>	<p>Análisis cualitativo de datos, Observación cualitativa.</p>
<p>4</p>	<p>Realizar pruebas de campo para validar la funcionalidad del prototipo de soporte mecánico para nivelación de antenas HF</p>	<p>Poner a prueba el prototipo final en condiciones reales y con variaciones de clima y de terreno. Realizar inspección visual para verificar su funcionalidad. Considerar mejoras para optimizar funcionamiento y viabilidad del prototipo final.</p>	<p>Observación pasiva (directa).</p>	<p>Observación cualitativa y cuantitativa.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Fase 1

En esta fase inicial se llevó a cabo una revisión documental para verificar las especificaciones técnicas de los actuales soportes de antenas HF. En este caso, conociendo que el enfoque es la nivelación para la función de radiogoniometría, se tuvieron en cuenta aspectos tales como peso, dimensión, material de fabricación, tipo y forma estructural.

En la Figura 2 se ilustra la antena HF fija y transportable ADD011SR de la empresa Rohde & Schwarz.

FIGURA 2. Antena ref: ADD011SR



Fuente: Brochure Producto Ver 12.00, Rohde & Schwarz, 2020

Dentro de los requerimientos técnicos para la fijación y nivelación de este tipo de antenas se incluye el área, la cual debe tener una superficie plana y una variación máxima de 50 cm. Además, se debe observar una distancia suficiente de todos los obstáculos metálicos, carreteras, áreas urbanizadas (vivas e industriales), bosques, etc. En la práctica, sin embargo, la relativa homogeneidad del suelo sobre el que se va a erigir la antena es más importante que, por ejemplo, un terreno DF ligeramente inclinado.

Fase 2

Posteriormente, se planteó la necesidad de establecer las condiciones del terreno para instalación de soportes mecánicos para la nivelación de antenas HF. En la Figura 3 se observan los trípodes para este tipo de antenas montados sobre anillos de hormigón para realizar el ajuste en altura. Cabe resaltar que estos trípodes son desarrollados por la empresa Rohde & Schwarz, los cuales cuentan con tres bases fijas metálicas, es decir, que no son ajustables en altura; en la parte superior cuentan con una base circular del mismo material en la que se realiza el ajuste de las antenas mediante tornillos (Proyecto BAIDI, 2022).

FIGURA 3. Instalación antena y soporte Rohde and Schwarz

Fuente: (Proyecto BAIDI, 2022)

Para este tipo de instalaciones, en la medida de lo posible, deben observarse las siguientes reglas:

En cuanto al terreno, no se debe superar un gradiente de terreno de máx. 5%. Más allá de esta zona se permiten gradientes mayores, pero se deben evitar cambios bruscos del terreno en un radio de 500 a 800 m.

Desde una elevación de aprox. 3°, la propagación de las olas no debe ser perturbada por obstáculos.

El peso del elemento DF y del trípode, según el manual, debe ser:

- Elemento DF (sin trípode) - Aprox. 21 kg.
- Trípode (incluyendo 3 clavijas) - Aprox. 13 kg.

Luego de obtener la información por toma fotográfica y medición en campo, se procede a realizar los diseños preliminares del prototipo para simulación y evaluación de funcionalidad.

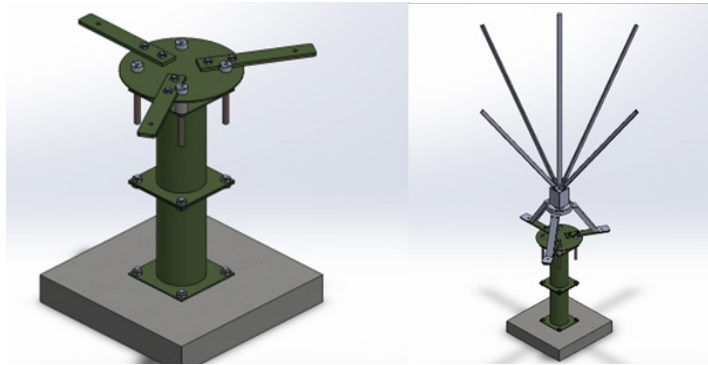
Como se observa en la Figura 3, para la instalación y nivelación de las antenas HF se requiere el desarrollo de una obra civil para la adecuación del terreno, lo cual implica tiempos y costos adicionales; además, en caso de necesitar un cambio de ubicación de las antenas, se deberá incurrir en nuevas obras de adecuación, puesto que no tiene la característica de ser portátil.

Fase 3

A partir de la información consolidada en las fases 1 y 2 se procede a realizar un diseño inicial de soporte mecánico para la nivelación de antenas HF. Este primer diseño se llevó a cabo tomando como referencia el soporte instalado actualmente por la empresa Rhode and Schwartz en los campos de antena HF DF.

Diseño 1: Se optó por una torre robusta con opción de instalar platinas graduables en la base superior para la sujeción de la antena, como se ilustra en la Figura 4.

FIGURA 4. Diseño primer prototipo y vista simulada con antena



Fuente: Elaboración propia, diseñado en Solidworks

Antes de proceder al desarrollo de este prototipo, el diseño digital de la Figura 4 fue sometido a análisis por los operadores del sistema. De acuerdo con sus apreciaciones, se llega a la conclusión de que este diseño no sería óptimo por las siguientes razones.

- No se adapta a terrenos irregulares, ya que necesita tener un área de superficie plana de aproximadamente dos metros cuadrados para realizar el adecuado anclaje de la base.
- Por su fabricación robusta no se facilita el transporte a diferentes áreas de implementación.
- Permite sólo una posición en altura.
- No presenta mayor reducción en los costos de instalación.

Luego de analizar los pros y contras del prototipo inicial, se opta por realizar un nuevo diseño de soporte para mejorar las especificaciones evaluadas por el personal encargado de instalación y control de los campos de antena. Para este rediseño se buscó

adaptabilidad a cualquier superficie, terreno y condición climática, posibilidad de nivelación en los ejes vertical y horizontal y fácil transporte.

Diseño 2 Soporte tipo trípode: Se diseñó un soporte tipo trípode que permite mantener la nivelación en cualquier tipo de terreno, gracias a las extensiones plegables con opción de rotación en la base de anclaje. Además, se implementó un sistema de engranajes en la parte central para brindar desplazamiento y ajustar la altura de la antena. En la Figura 5 se ilustra este nuevo diseño de prototipo.

FIGURA 5. Diseño 2 – Soporte tipo trípode



Fuente: Elaboración propia

Los materiales de fabricación para este segundo diseño fueron tubos de polipropileno y nylon. Los discos dentados se fabricaron en teflón y para las bases de sujeción de la antena se optó por la baquelita industrial blanca.

En comparación con el primer prototipo, se evidencian mejoras en cuanto a peso, adaptabilidad a diferente tipo de terrenos, fácil transporte, permite cambios de posición en altura e inclinación y menores costos de fabricación.

Fase 4

Por último, se planteó el desarrollo de pruebas de campo con el fin de validar la funcionalidad del prototipo. Luego de ser ensamblado el soporte con una antena HF (diseño 2) se puso a prueba en condiciones reales de trabajo durante una semana en el municipio de Facatativá (Cundinamarca) a una altura de 2586 msnm aproximadamente, a una temperatura promedio de 15° Celsius; la zona de pruebas tiene terrenos de tierra

negra, es decir, zonas fértiles para cultivos, lo que hace que sean suelos blandos aunque esto no imposibilitó el adecuado funcionamiento del mástil (ver Figura 2); de igual manera se realizaron pruebas en el fuerte militar de Tolemaida (Nilo, Cundinamarca) en una de las estaciones de monitoria del BIANGE, a una altitud de 490 msnm con una temperatura promedio de 34° Celsius, con terrenos arcillosos ya arenosos y en superficies con pendientes mínimas, ya que en este terreno se evaluó el desempeño del equipo en temperaturas altas (ver Figura 6).

FIGURA 6. Prueba de campo del diseño 2 – Soporte tipo trípode



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizadas las dos pruebas en terreno frío, caliente y diferentes tipos de suelos se realizó inspección del posicionamiento del prototipo para el soporte y nivelación de la antena. Se observó dilatación y deflectación del material de las extensiones plegables, con posibilidad de caída y daño en la antena de trabajo, por lo cual se opta por realizar cambios en los materiales afectados buscando mayor robustez en la estructura.

Teniendo en cuenta las pruebas realizadas al diseño 2, se realizaron cambios en los materiales de construcción del segundo diseño y se reemplazaron algunas partes mecánicas con el fin de lograr mayor estabilidad y reducir variaciones estructurales por factores externos al elemento. A continuación, se relaciona la tabla de materiales usados para el proceso de fabricación del prototipo soporte de nivelación final.

TABLA 2. Materiales de fabricación del soporte

Proceso	Material
Fabricación de engranajes.	Baquelita de 168mmx15mm
	Baquelita de 68mmx15mm
Fabricación de tornillos de elevación.	Varilla roscada de ¾ NC
	Tornillos y tuercas de sujeción.
Fabricación del sistema de elevación.	Discos de aluminio de 300mm x10mm
Fabricación de trípode.	Empack de 35mm
	Empack de 2"
Rodamientos.	Axial 40TA11
	Engranaje Cónico 1M25T de 12 mm

Fuente: Elaboración propia

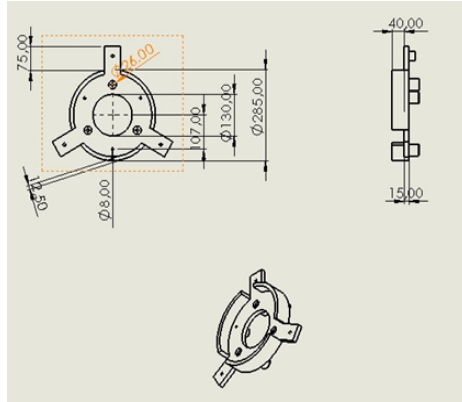
Resultados preliminares

Se llevó a cabo el diseño y pruebas de campo al prototipo final de soporte mecánico para nivelación de antenas HF. El soporte se divide en tres partes fundamentales: Base Superior, Sistema de engranajes y Sistema de soporte y anclaje, como se describe a continuación:

Base Superior: La base de sujeción de la antena se reemplaza por aluminio con tres mordazas escualizables, fabricadas en teflón de alto impacto, las cuales permiten fijar la antena y brindar estabilidad ante fuertes corrientes de aire o vibraciones del terreno.

Esta base circular presenta un diámetro de 28,5 cm y cada base de mordaza tiene una dimensión de 7.5 cm de largo x 4.0 cm de ancho. En la parte central de cada base de mordaza se hacen agujeros de 2.6 cm de diámetro para poder ajustar con tornillo y tuerca las mordazas escualizables, como se muestra en la Figura 7.

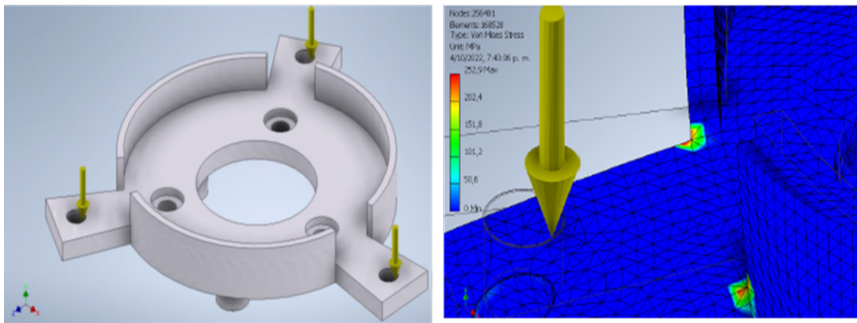
FIGURA 7. Base superior del soporte acotada



Fuente: Elaboración propia, realizado en Autodesk Inventor

Aplicando una presión sobre las tres zonas marcadas es posible observar, por medio del análisis de esfuerzos, la deformación que la pieza puede tener, como se presenta en la Figura 8.

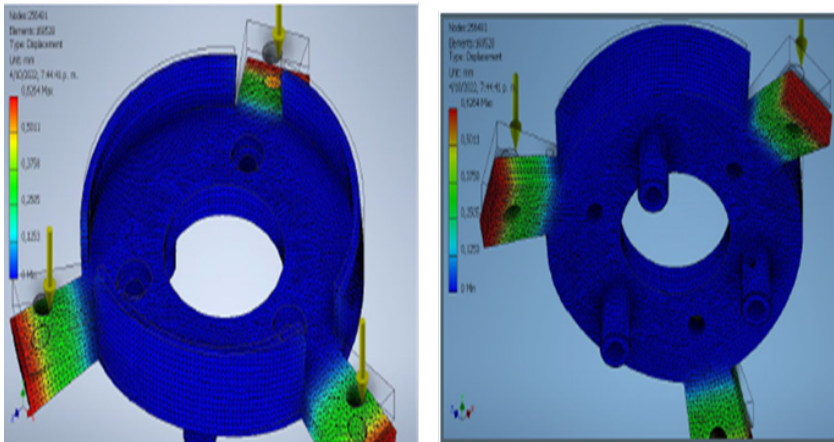
FIGURA 8. Vista superior del análisis de esfuerzos



Fuente: Elaboración propia, diseñado en Autodesk Inventor

De acuerdo con lo presentado en la Figura 8 se pueden ver los puntos que están más expuestos a mayores esfuerzos, debido a la tensión que se presenta en ciertas zonas, tensiones que pueden ir hasta 252.9MPa en las zonas más críticas. En la Figura 9 se presenta la vista superior e inferior del análisis de desplazamiento o deformación de la pieza.

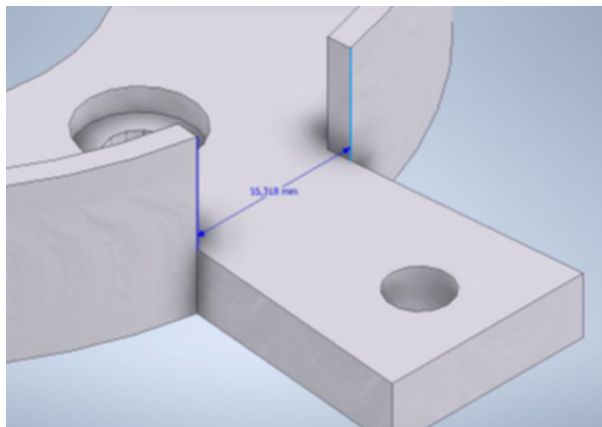
FIGURA 9. Vista superior e inferior del análisis de desplazamiento



Fuente: Elaboración propia, diseñado en Autodesk Inventor

En la Figura 9 se puede evidenciar el desplazamiento o deformación de la pieza. Son visibles las zonas en las cuales no se presenta deformación, como la parte en la que se soporta la estructura; por otro lado, las zonas que están al aire donde se aplica presión sí presentan deformación, llegando a un máximo de 0.626 mm. En la Figura 10 se ilustra la sección del soporte de la estructura superior, área que se encuentra sometida a los mayores esfuerzos.

FIGURA 10. Sección de soporte de la estructura superior



Fuente: Elaboración Propia, diseñado en Autodesk Inventor

El material de la estructura es aluminio, el cual posee un esfuerzo último de 125 MPa y un esfuerzo a la fluencia de 55 MPa, teniendo en cuenta las propiedades teóricas del aluminio 6061-0 utilizado en los prototipos; con estos datos se puede calcular la fuerza que llega a soportar la estructura mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{\sigma_{ut}}{1.5} = \frac{MC}{I}$$

Donde,

M es el momento.

C es la distancia hasta el centro de la pieza.

I es el momento de inercia.

1.5 es el factor de seguridad que se mantiene.

$$\frac{\sigma_{ut}}{1.5} = \frac{MC}{I} = \frac{x(50mm)(10mm)}{(55mm)(20mm)^2}$$

$$x=73.3KN$$

Eso quiere decir que la sección en donde está soportado todo el peso es capaz de soportar 140.8KN, manteniendo un factor de seguridad de 1,5. Por otro lado, los tornillos que unen las piezas son de 3/8 de pulgada; para este análisis se tiene en cuenta que están sometidos a un esfuerzo cortante, este debido a que el peso que recibe está soportado demasiado cerca al punto en donde se recibe el peso, como se presenta en la Figura 11.

FIGURA 11. Diagrama de Fuerzas



Fuente: Elaboración propia, diseñado en Autodesk Inventor

De la misma manera se calcula la fuerza que puede soportar cada uno de estos tornillos mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_y}{2} = \frac{F}{2A}$$

$$\frac{26 \text{ Kpsi}}{2} = \frac{F}{2\pi r^2} = \frac{F}{2\pi \left(\frac{3}{8}\right)^2}$$

$$F=2871 \text{ Lbfuerza} = 12.77 \text{ KN}$$

En la Figura 12 se presenta el ensamble general de la base superior.

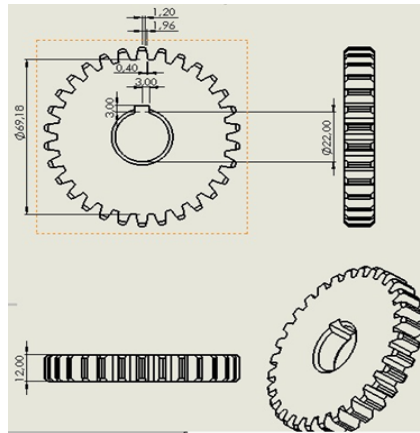
FIGURA 12. Ensamble general base superior



Fuente: Elaboración propia

Sistema de engranajes: Este sistema se encuentra anclado a una base inferior hecha en aluminio y cuenta con un piñón central y tres piñones satélites fabricados en nylon, ubicados a 120 grados entre sí, transmitiendo movimiento a los ejes centrales roscados, los cuales se encuentran ajustados a la base superior para permitir la nivelación uniforme en altura a cada antena HF DF, como se presenta en la Figura 13.

FIGURA 13. Piñón central



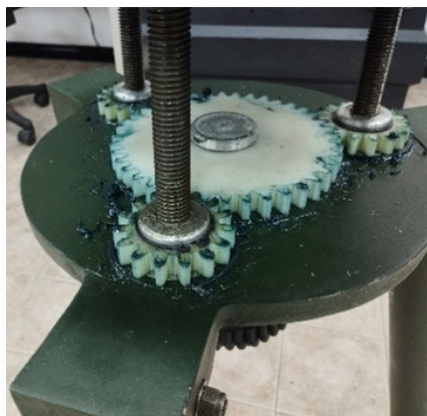
Fuente: Elaboración propia, realizado en Autodesk Inventor

Las dimensiones del mecanismo de engranajes están dadas de la siguiente forma:

- Piñón central de 40 dientes con diámetro de 17.0 cm
- Piñones satelitales de 15 dientes con diámetro de 7.0 cm
- Ejes roscados de 24.0 cm de longitud y $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro.
- Base inferior de soporte de 30.0 cm de diámetro y 2.0 cm de espesor.

Los tres piñones tienen un orificio interno que permite la instalación de los rodamientos encargados de la sujeción y desplazamiento de los ejes roscados para la nivelación de la base superior. En la Figura 14 se puede visualizar el mecanismo de engranajes del prototipo final.

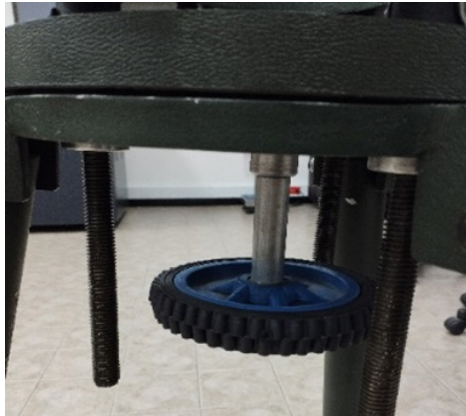
FIGURA 14. Mecanismo de engranajes



Fuente: Elaboración propia

Sistema de Desplazamiento: Para realizar el movimiento del sistema de engranajes se adapta al piñón central un eje en aluminio de 100 mm de longitud con una rueda en caucho en la parte inferior, para manipular de forma segura y con mayor facilidad el conjunto en general. El mecanismo encuentra el final del desplazamiento cuando el tope de los ejes roscados llega a tocar los rodamientos fijos de la base inferior (ver Figura 15).

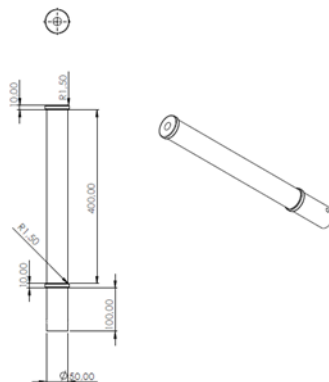
FIGURA 15. Mecanismo de desplazamiento



Fuente: Elaboración propia

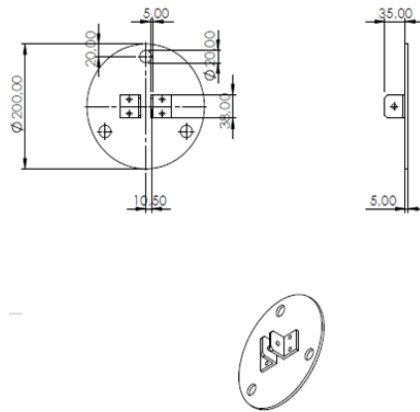
Sistema de soporte y anclaje: Esta parte se encuentra conformada por tres extensiones móviles que, a diferencia del segundo diseño, se fabrican en tubos de aluminio y acero 10-20 de dos pulgadas, además, se adaptan a la base inferior del sistema de engranajes por medio de tornillos pasantes que permiten hacer movimientos angulares de 90 a 160 grados, dependiendo de la topografía del terreno. En la Figura 16 se ilustra el tubo de soporte, y en la Figura 17 la base de este sistema.

FIGURA 16. Tubo de soporte



Fuente: Elaboración propia, realizado en Autodesk Inventor

FIGURA 17. Base de soporte



Fuente: Elaboración propia, realizado en Autodesk Inventor

La base de sujeción también se encuentra fabricada en aluminio y acero 10-20 de 20.0 cm de diámetro, con un eje roscado de 100 mm de longitud que se fija a la extensión con una brida roscada, y a la base por dos uniones con un eje pasante que permite movimientos angulares de 90 a 130 grados. En la Figura 18 se presentan las extensiones y la base de sujeción del prototipo.

FIGURA 18. Extensiones y base de sujeción

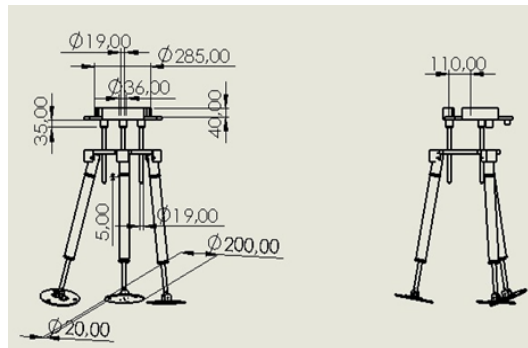


Fuente: Elaboración propia

Se realizan perforaciones para la instalación de ganchos, chazos o pernos de sujeción, según la necesidad y el estado del terreno.

Ensamble final: El prototipo ensamblado y desplegado en su máxima altura tiene una medida de 950 mm y un peso de 18 kilogramos aproximadamente. En la Figura 19 se presenta el ensamble final.

FIGURA 19. Ensamble final



Fuente: Elaboración propia, realizado en Autodesk Inventor

En la Figura 20 se presenta el prototipo final del soporte mecánico para nivelación de antenas HF:

FIGURA 20. Prototipo soporte final



Fuente: Elaboración propia

El prototipo final Keops fue sometido a pruebas de campo en terreno de condiciones exigentes en cuanto a nivelación, condiciones de sol, viento y lluvia, el cual se comportó de manera satisfactoria en términos de eficiencia y estabilidad de la antena, brindó y sostuvo a lo largo de las pruebas la altura y nivel deseados, permitiendo su correcta integración en el campo de antenas para la recepción de señales de alta frecuencia.

Resultados

Los resultados obtenidos en el presente estudio se derivan principalmente de pruebas de campo realizadas con los prototipos desarrollados bajo condiciones reales de operación. Como señalan Esteves et al., (2012), las pruebas de campo son esenciales en el desarrollo de prototipos ingenieriles, ya que permiten validar aspectos clave, como funcionamiento, resistencia y eficiencia en ambientes reales.

En el caso del prototipo Keops, las pruebas de campo mostraron un comportamiento satisfactorio en términos de estabilidad de la antena soportada, incluso bajo condiciones climáticas y topográficas exigentes. Esto concuerda con lo planteado por Wait et al. (1974), quienes afirman que los soportes de antenas deben ser capaces de mantener la orientación precisa ante viento, lluvia y variaciones del terreno.

Si bien existen algunos estudios previos sobre el desarrollo de soportes portátiles para antenas, el presente trabajo representa un avance en cuanto al diseño de un sistema específico para antenas de alta frecuencia destinadas a tareas de radiogoniometría. A diferencia de los diseños reportados en la literatura, el prototipo Keops fue concebido desde el inicio para operar bajo condiciones exigentes y terrenos irregulares, logrando una precisión y estabilidad comparable con los soportes fijos de concreto, según las pruebas realizadas.

A su vez, otro aspecto novedoso es la incorporación de materiales resistentes, pero livianos, como aluminio y acero, que permiten un transporte sencillo sin comprometer la robustez. Los análisis de esfuerzos y desplazamientos presentados evidencian un comportamiento adecuado de los materiales seleccionados. Adicionalmente, la geometría ajustable del prototipo Keops facilita adaptaciones rápidas en campo, característica única frente a otros diseños reportados.

Otro resultado relevante es la reducción en los costos de instalación y mantenimiento de los campos de antena al utilizar el prototipo Keops, en comparación con las bases de anclaje de concreto empleadas actualmente. Según Schacht (2011), este tipo de soportes portátiles y adaptables representan una alternativa más económica, práctica y flexible para la implementación de sistemas de antenas.

Finalmente, las pruebas de compatibilidad con los equipos de radiogoniometría mostraron que el prototipo Keops permite una recepción adecuada de las señales de

radiofrecuencia, sin afectar la precisión del sistema. Esto valida su aplicabilidad como soporte confiable para tareas de inteligencia y monitoreo, tal como lo plantean los objetivos del estudio.

En tal sentido, este trabajo aporta un diseño innovador de soporte móvil para antenas de alta frecuencia, que supera limitaciones de diseños previos y cumple rigurosamente con los requerimientos metodológicos y éticos de la investigación científica. Los resultados positivos obtenidos sientan las bases para la fabricación y adopción masiva de este nuevo prototipo por parte del Ejército Nacional de Colombia.

Discusión

El presente estudio se realizó con el fin de desarrollar un prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas de alta frecuencia. A través de una investigación mixta (cualitativa y cuantitativa) de enfoque descriptivo se llevó a cabo el prototipo denominado Keops, mediante el cual se buscó hacer un acercamiento a la pregunta de investigación: ¿Cómo debe ser el diseño y desarrollo de un prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas de alta frecuencia, que brinda robustez y eficiencia para estabilizar de forma práctica y segura cada antena en superficies irregulares, y además sea de fácil transporte?

A la luz de la información consolidada a lo largo del estudio se estableció que el sistema de campos de antena instalado por la empresa Rhode and Schwarz actualmente es muy eficiente y funcional en el área operativa, sin embargo, presenta la limitante de tener que disponer de un espacio con superficie plana para la adecuación y anclaje de cada antena, lo que hace que en muchas ocasiones se reduzcan las opciones de terrenos estratégicos.

Así mismo, se establecieron las condiciones del terreno para la instalación de soportes de antenas HF, incluyendo la definición de los gradientes máximos y mínimos del terreno para permitir la instalación de este tipo de soportes.

De igual forma, se diseñó el prototipo de soporte mecánico para la nivelación de antenas HF, el cual pasó por dos versiones iniciales para poder llegar al producto final, que garantiza la suficiente robustez y eficacia para soportar y nivelar antenas de este tipo, sin importar las condiciones del terreno o la situación climática del área donde se realice su instalación; así mismo, asocia menores costos de implementación, contando con la característica portátil.

Cabe destacar que el prototipo de nivelación Keops se encuentra en etapa de pruebas y a la espera de fabricación de ocho prototipos más para ejecutar la instalación general de un sistema de campos de antena y proceder con la evaluación de compatibilidad de los materiales de cada soporte y la correcta recepción de la información.

Desde los resultados obtenidos durante el estudio, es posible afirmar que el desarrollo e implementación de este prototipo para su uso estandarizado en campos de antenas para aplicación en radiogoniometría representa un importante aporte a la Inteligencia, tanto a nivel táctico como estratégico, puesto que permite dar mayor confiabilidad a la inteligencia de señales, logrando la comprensión de actividades y amenazas, aportando información de valor para la toma de decisiones estratégicas en la inteligencia y creando la hoja de ruta de las posibilidades altamente operativas de las acciones a desarrollar para garantizar la preparación y tener la ventaja sobre el enemigo.

Es preciso mencionar que la novedad del presente trabajo radica en el desarrollo de un prototipo de soporte para antenas de alta frecuencia (Keops) con características únicas de portabilidad, resistencia y adaptabilidad, que superan las limitaciones de los diseños previos. A diferencia de los soportes fijos de concreto actualmente utilizados, el prototipo Keops posee tres extensiones telescópicas que permiten un rápido ajuste en terrenos inclinados o irregulares. El uso de materiales ligeros, como aluminio y acero, garantizan la resistencia sin comprometer la movilidad. Asimismo, el sistema de engranajes diseñado posibilita variaciones milimétricas en la orientación de la antena, según se requiera.

Otro aspecto novedoso es la geometría ajustable de las mordazas en la base superior, que facilitan la sujeción de antenas de diferentes tamaños y modelos. Las pruebas de esfuerzo demuestran la capacidad de soportar cargas superiores a los 100 kg sin deformaciones permanentes. En conjunto, estas innovaciones en el diseño hacen del prototipo Keops una solución única para la nivelación de antenas de alta frecuencia bajo condiciones adversas.

Por tanto, este trabajo aporta un novedoso diseño de soporte móvil con prestaciones inéditas de adaptabilidad, resistencia y precisión. Ello representa un avance en la implementación de sistemas de radiogoniometría en terrenos complejos, de utilidad para aplicaciones militares y civiles.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el diseño y desarrollo del prototipo Keops para nivelación de antenas HF DF dieron cuenta de este producto como una alternativa práctica y segura en diferentes terrenos y condiciones climáticas, brindando robustez y eficiencia para soportar y nivelar este tipo de antenas. Además, cuenta con menores costos de fabricación e instalación en comparación con las condiciones actuales para implementación de soportes de antena.

Resulta evidente que el diseño e implementación de este prototipo Keops sí corresponde a la solución viable del problema planteado, puesto que permite dar soporte, estabilidad y nivelación a las antenas HF DF en terrenos irregulares y condiciones

climáticas exigentes, a la vez que reduce los costos de instalación que conlleva contratar el servicio de instalación ofrecido por la empresa Rhode and Schwarz, sumado a la confiabilidad y la portabilidad, convirtiéndose en un producto propio de la Fuerza que sirve de soporte y referencia para diferentes aplicaciones en montajes de antenas.

Por ello, la aplicación del prototipo Keops para radiogoniometría representa un aporte al Arma de Inteligencia a nivel táctico y estratégico. A nivel táctico, porque permite contar con una alternativa confiable, económica y portátil, facilitando el trabajo en campo para la recepción de señales HF DF. A nivel estratégico, puesto que facilita la consolidación de información clave para la toma de decisiones estratégicas y así reforzar la seguridad nacional mediante la continua vigilancia y preparación de la hoja de ruta para la ventaja frente al enemigo.

Para seguir trabajando y mejorar el prototipo de Keops, se propone realizar una evaluación de campo integral para probar su desempeño en una variedad de escenarios. Además, se pueden explorar opciones de materiales más ligeros sin sacrificar la resistencia y durabilidad del prototipo, lo que facilita el transporte y el despliegue en terrenos difíciles. Finalmente, la colaboración con diferentes fuerzas militares y empresas de ingeniería puede aumentar la viabilidad y aplicabilidad del prototipo en contextos estratégicos y tácticos.

Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo.

Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

Sobre los autores

Diana Patricia Gómez Vargas es magister en Recursos Humanos y Gestión del Conocimiento de la Universidad Europea Miguel de Cervantes (España), Ingeniera Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada (Colombia), experta en metodología de investigación y asesoría en proyectos de investigación, con experiencia en asesorar y hacer seguimiento en la formulación de proyectos de investigación, artículos, monografías y demás trabajos de grado en cada una de sus etapas.

<https://orcid.org/0000-0002-5064-5822-Contacto:asesoriasmetodologicasdg@gmail.com>

Diego Arley Velosa Castañeda es Ingeniero en Control y Automatización de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), con amplio conocimiento en el diseño y montaje de circuitos en placas electrónicas a nivel industrial, con experiencia en desarrollo y consultoría de proyectos de investigación tecnológica, integrante del grupo de investigación BAIDI.

<https://orcid.org/0000-0003-0104-4673> - Contacto: diegovelosa@gmail.com

Juan Wilfredo Pinto Uribe es Ingeniero Electrónico de la Universidad Industrial de Santander (Colombia), con conocimientos en evaluación y gerencia de proyectos, máquinas eléctricas, comunicaciones, sistemas digitales, arquitectura de computadores, electrónica industrial y sistemas de control. Oficial de Investigación y Desarrollo en el Batallón de Investigación Desarrollo e Innovación de Inteligencia, integrante del grupo de investigación BAIDI.

<https://orcid.org/0000-0003-4193-6502> - Contacto: jpintou@imi.mil.co

Julián Camilo Guevara Cardona es candidato a magister en Inteligencia Estratégica de la Institución Universitaria Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia “BG. Ricardo Charry Solano” (Colombia), profesional en Relaciones Internacionales y Estudios Políticos de la Universidad Militar Nueva Granada (Colombia), con conocimientos en geopolítica, creación de política públicas, análisis de política exterior, estudios estratégicos, dominio de métodos analíticos cualitativos, cuantitativos, experiencia como docente y asesor.

<https://orcid.org/0000-0002-2854-6430> - Contacto: julian.guevara@esici.edu.co

Referencias

- Andagana Junta, O. M. (2008). Estudio de Factibilidad de un nuevo sistema nacional de comprobación técnica del espectro radioeléctrico para la Superintendencia de Telecomunicaciones. *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16789/1/CD-1430.pdf>
- Barbosa Reyes, W. M. (2016). Desafíos de la Inteligencia Militar del Ejército Nacional en un escenario de posconflicto. *Repositorio Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/14467>.
- Chiavaro, G. D. (2018). La influencia de la guerra electrónica en el diseño operacional. *cefadigital.edu.ar*. *Repositorio Digital del Centro Educativo de las Fuerzas Armadas – CEFADIGITAL*. <http://cefadigital.edu.ar/handle/1847939/1192>

- Cruz González, J., & Piniella Corbacho, F. (2015). Los comienzos del oficial radiotelegrafista marítimo en España. *Llull Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 38(82), 259-290. <https://recyt.fecyt.es/index.php/LLUL/article/view/43701>
- Cruz González, J., & Piniella Corbacho, F. (2018). Introducción e implantación de la radiogoniometría en la Marina Civil española: génesis de la radionavegación en España. *Llull Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 41(85), 163-190. <https://recyt.fecyt.es/index.php/LLUL/article/view/68407>
- Esteves, L. A., Caicedo, G., & Murcia, F. (2012). Field tests for assessing electrical protection performance regarding electromechanical protection relays. *Ingeniería e Investigación*, 32(3), 71-75. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092012000300014
- Galindo Mier, R. (2020). El radio cognitivo en la guerra electrónica. *Telemática Revista digital de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones*, 19(3), 23-37. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/405/378/1231>
- Gross, F. (2015). Smart antennas with matlab: principles and applications in wireless communication. Mc Graw – Hill <https://www.accessengineer-inglibrary.com/binaries/mheaworks/8be89cb14558458f902b67141f15173a4525a008f1e508fed692daea4f90a165f47378cba07aaf87/book-summary.pdf>
- Guevara Albán, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Gunashekar, S., E. Michael Warrington, Hal J., Yvon Erhel, Sana Salous, Stuart M., Nasir M., Louis Bertel, Dominique Lemur, François Marie, & Martial Oger. (2009). Utilization of antenna arrays in HF systems. *Annals of Geophysics*, 52(3-4), 323-338. <https://doi.org/10.4401/ag-4578>
- Hernández Estupiñán, P. A. (2021). Aportes al concepto de inteligencia estratégica. *Revista Perspectivas en Inteligencia*, 12(21), 81-94. <https://doi.org/10.47961/2145194X.233>
- Hernández Hernández, M. (2014). Radiobalizas y radiogoniometría: Identificación y localización. RIULL Repositorio Universidad de La Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/333>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (Ed.; Sexta). McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Herrera, A. O. (2017). Diseño y planificación de las actividades de guerra electrónica en el ambiente operacional. *cefadigital.edu.ar*. Repositorio Digital del Centro Educativo de las Fuerzas Armadas – CEFADIGITAL. <http://www.cefadigital.edu.ar/handle/1847939/1174>
- Liendo Ramos, M. E. (2021). Optimización de la doctrina de empleo de la compañía de inteligencia en los escenarios de guerra convencional y no convencional. Repositorio de la Escuela Superior de Guerra de Perú. <http://repositorio.esge.edu.pe/handle/20.500.14141/193>
- López Perpiñá, R. (2021). Sistemas de Radiogoniometría. UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. <http://hdl.handle.net/2117/351449>
- Ma, R., & Behdad, N. (2019). Design of Platform-Based HF Direction-Finding Antennas Using the Characteristic Mode Theory. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(3), 1417–1427. <https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2884878>
- Morillo Alcívar, P. A. (2016). Estudio de factibilidad de la conexión de dos equipos de radiogoniometría para la determinación de la señal de telefonía móvil celular, tecnología GSM. BIBDIGITAL- Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16964>
- Proyecto BAIDI. (2022). Documento de recomendación de instalación. Proyecto de desarrollo tecnológico del BAIDI.
- Ramos Rojas, G. (2016). Monitoreo “pasivo” de comunicaciones: Una maniobra lícita de inteligencia para la supervivencia del Estado. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, 16, 1–27. https://derechoytics.uniandes.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=246%3Amonitoreo-pasivo-de-comunicaciones-una-maniobra-licita-de-inteligencia-para-la-supervivencia-del-estado&catid=20%3A16&Itemid=96&lang=es
- Rohde & Schwarz. (2019). R&S®DDF5GTS High-Speed Scanning Direction Finder Fast, accurate direction finding. https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/DDF5GTS_bro_en_3606-8137-12_v0700.pdf
- Rohde & Schwarz. (2020). R&S®ADD011SR Super-resolution HF DF antenna. <https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/seguridad-para-el-sector->

aeroespacial-y-de-defensa/opciones-de-receptores-y-radiogoniometros/rs-add011sr_63493-10869.html

- Sánchez, T., Redondo, A. D., García, A. F., Gómez, C., Betancur, L., & Hincapié, R. C. (2015). Implementaciones en Hardware de técnicas de Radiogoniometría. *Ingeniería y Región*, 14(2), 23–33. <https://doi.org/10.25054/22161325.690>
- Salazar Vargas, C. (1994) Dossier, Definición de política pública. https://proyectos.javerianacali.edu.co/cursos_virtuales/posgrado/maestria_asesoria_familiar/proyectos_I/m%C3%B3dulo%202/C_Salazar.pdf
- Schacht, W. H. (2011). Small business innovation research (SBIR) program. Congressional Research Service.
- Torres Garzón, E. A., Guevara Cardona, J. C., & Mendoza Prieto, Y. O. (2022). Estudio sobre el desarrollo de un prototipo para monitoreo del espectro radioelectrónico utilizando SDR. *Revista Perspectivas en Inteligencia*, 14(23), 303–323. <https://doi.org/10.47961/2145194X.344>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2002). Recomendación SM.1598 Métodos de radiogoniometría y localización de señales de acceso múltiple por división en tiempo y acceso múltiple por división de código. SM.1598-0 (10/2002). Obtenido de <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1598-0-200210-W/es>
- Zarza, L. A. (2016). Estrategia militar y su transfiguración en la era de la información. *Visión conjunta*, 15, 4–14. [cefadigital.edu.ar. Repositorio Digital del Centro Educativo de las Fuerzas Armadas – CEFADIGITAL. http://www.cefadigital.edu.ar/handle/1847939/640](http://www.cefadigital.edu.ar/handle/1847939/640)