

Estimaciones de las distancias máximas de detección de diferentes tipos de municiones sin explotar (UXO) utilizando magnetómetros

Autores:

25 de julio de 2024

Alexey Dobrovolskiy
CEO, CTO en SPH Engineering

Matiss Brants
Geofísico en SPH Engineering



En las últimas décadas, los magnetómetros —tanto terrestres como aéreos o remolcados— se han convertido en herramientas ampliamente utilizadas para la detección de diversos tipos de **municiones sin explotar (UXO)** y **restos explosivos de guerra (ERW)**. A pesar de la gran experiencia acumulada por los profesionales de campo y las organizaciones dedicadas al desminado y limpieza de UXO, **sigue existiendo una escasez de información pública detallada sobre las capacidades reales de los sistemas de magnetometría en cuanto al alcance de detección para diferentes tipos de munición.**

Desafortunadamente, los **inversores y financiadores de proyectos de desminado** tienden a **sobrevalorar las capacidades de los equipos modernos de detección**, esperando soluciones milagrosas que permitan reducir riesgos y costos en las actividades de limpieza de minas y UXO. Esto ocurre especialmente en escenarios de **liberación de tierras** tras conflictos, donde los terrenos contaminados pueden ser extensos y los presupuestos limitados.

La realidad física

La realidad es que las **leyes de la física imponen límites** al rango de detección para la mayoría de los tipos de munición “comunes”, que oscilan generalmente entre **decenas de centímetros y algunos pocos metros**. En este artículo, presentamos estimaciones realistas de las distancias máximas de detección para diversos tipos de UXO,

con el objetivo de alinear las expectativas de todos los actores involucrados en las tareas de liberación de tierras y desminado.

Metodología

Para que una munición (objeto metálico ferroso) sea detectable mediante magnetometría, debe **generar una anomalía magnética suficientemente fuerte** como para superar tanto el **nivel de ruido del sistema** como un **umbral mínimo de relación señal-ruido (SNR)** que permita clasificarla como una señal válida.

El **nivel de ruido** es el valor por debajo del cual no se pueden distinguir señales útiles. Los sensores de los magnetómetros presentan un ruido interno, pero también se suman otros ruidos generados por la plataforma de operación (como un dron, por ejemplo). Los fabricantes suelen reportar niveles de ruido muy bajos en condiciones de laboratorio, a veces fracciones de nanotesla (nT), pero estos valores **no reflejan las condiciones reales de trabajo en campo**.

En base a nuestra experiencia, asumimos que un sistema compuesto por un dron moderno y un magnetómetro de calidad profesional presenta un nivel de ruido de **aproximadamente 2.5 nT**, y que la señal debe tener un **SNR de al menos 6 dB**, lo cual equivale a una señal de al menos **5 nT** para considerarse válida. Aunque existen consideraciones adicionales, esta suposición es suficiente para establecer estimaciones realistas en sistemas de alta calidad actualmente disponibles en el mercado.

Las distancias de detección presentadas fueron calculadas combinando datos recopilados por **SPH Engineering** y sus socios, así como fuentes externas confiables, con el objetivo de estimar a qué distancia una anomalía magnética generada por distintos tipos de munición alcanzaría una amplitud de 5 nT.

Avisos y limitaciones

- Las estimaciones fueron intencionalmente **conservadoras**, pero **no garantizamos** que un tipo de munición específico o similar se detecte exactamente a las distancias indicadas.
- Las distancias reportadas deben entenderse como **“rangos máximos” de detección**. Es muy poco probable que puedan detectarse los mismos objetos a distancias mayores.
- La información se proporciona **“TAL CUAL”**, y **SPH Engineering no asume responsabilidad alguna por su precisión o aplicabilidad** en todos los escenarios.
- Las estimaciones se basan en objetos específicos utilizados en las pruebas. La misma clase de munición, pero de distinto origen, edad o estado, podría tener un comportamiento diferente.

Nota sobre la detección de minas antipersonal

Aunque algunos tipos de **minas antipersonal** pueden ser detectadas mediante magnetómetros —como las minas antitanque M15, M6, TM-62M, o minas antipersonal como la M16, PROM-1, OZM-3, OZM-4, OZM-72—, **la detección de minas no es una aplicación directa ni completa** para esta tecnología. Muchos modelos modernos de minas no contienen suficiente metal ferroso para ser detectados. Por ello, **los magnetómetros nunca deben usarse para confirmar la ausencia de minas**, pero sí pueden ser herramientas muy útiles durante **levantamientos no técnicos (NTS)** o **levantamientos técnicos (TS)** para confirmar la presencia de UXO o minas con materiales ferrosos significativos.

Distancias máximas de detección estimadas

Nº	Tipo de munición	Distancia estimada*, m	Método de estimación**	Fuente***
1	Proyectil M55 de 20 mm	0.4	Laboratorio	1
2	Simulador UXO de 20 mm	0.7	Campo	3
3	Simulador UXO de 37 mm	0.9	Laboratorio	4
4	Proyectil MKII de 40 mm	0.9	Laboratorio	1
5	Obús de 45 mm (Alemania, WWII)	0.8	Campo	2
6	Obús de 50 mm (Alemania, WWII)	0.8	Campo	2
7	Proyectil M86 APC de 57 mm	1.2	Laboratorio	1
8	Mortero M49A3 de 60 mm	1.2	Laboratorio	1
9	Simulador UXO de 60 mm	1.5	Campo	3
10	Cohete M230 (2.75") de 70 mm	2.4	Laboratorio	4
11	Cabeza de guerra M230 de 70 mm	2.0	Laboratorio	1
12	Obús de 75 mm (Alemania, WWII)	0.9	Campo	2
13	Proyectil AP de 76 mm	1.5	Laboratorio	1
14	Granada HE de 76 mm (Alemania, WWII)	1.5	Campo	2
15	Mortero M374 de 81 mm	1.5	Laboratorio	1
16	Obús de 88 mm (Alemania, WWII)	2.0	Campo	2
17	Proyectil AP de 90 mm	1.8	Laboratorio	1
18	Proyectil HR M456 de 105 mm	2.1	Laboratorio	1
19	Proyectil AP M60 de 105 mm	2.6	Laboratorio	1
20	Simulador UXO de 105 mm	4.0	Campo	3
21	Cabeza HEAT de 125 mm (URSS, WWII)	2.4	Campo	2
22	Obús HE de 150 mm (Alemania, WWII)	2.8	Campo	2
23	Obús HE de 150 mm (Alemania, WWII)	3.2	Laboratorio	1
24	Obús de 215 mm (Alemania, WWII)	5.0	Campo	2
25	Cabeza de cohete de 320 mm (Alemania, WWII)	3.8	Campo	2
26	Bomba aérea MC de 500 lb (GB, WWII)	>7.0	Campo	2

27	Submunición BDU-26	0.5	Laboratorio	1
28	Submunición BDU-28	0.5	Laboratorio	1
29	Bomba aérea Flam C-250 (Alemania, WWII)	>7.0	Campo	2
30	Cohete M-31-UK (URSS, WWII)	>7.0	Campo	2
31	Submunición M42	0.5	Laboratorio	1
32	Mina OZM-72 (URSS)	1.3	Campo	2
33	Granada RGD-5 (URSS)	0.5	Campo	2
34	Granada propulsada RPG-18 (URSS)	0.9	Campo	2
35	Bomba aérea SD 70 (Alemania, WWII)	7.0	Campo	2
36	Mina antitanque TM-62M (URSS)	2.8	Campo	2
37	Granada propulsada Tipo 100 (Alemania, WWII)	2.0	Campo	2
38	Lanzador de granadas Tipo 100 (Alemania, WWII)	3.0	Campo	2
39	Cabeza de guerra Tipo 100 (Alemania, WWII)	1.1	Campo	2

Notas

- **Distancia de detección** = Altura del sensor + profundidad del objetivo, considerando un umbral mínimo de 5 nT.
- **Métodos de estimación:**
 - **Campo:** Mediciones limitadas en terreno real con munición activa o desactivada.
 - **Laboratorio:** Mediciones detalladas en condiciones controladas.

Fuentes:

1. Billings et al. 2006. Modelos magnéticos de municiones sin detonar. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872905> Las estimaciones se basan en la orientación que provoca la máxima intensidad magnética (orientación axial). Enlace: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1661800>
1. SPH Engineering & SENSYS. Resultados de pruebas de detección de municiones sin explotar utilizando varios tipos de magnetómetros (MagNIMBUS de SPH Engineering, SENSYS MagDrone R1, R2, R4) en el campo de pruebas SENSYS GeoMil. Enlace: https://app.dronegis.sphengineering.com/api/v1/shared_urls/656c9c959a6dff6e20f7de42
1. SPH Engineering. Comparación de magnetómetros basados en UAV: prueba de UXO. Enlace: <https://www.sphengineering.com/news/uav-based-magnetometer-comparison-uxo-test>
2. Herramienta Seequent Oasis Montaj UXO Extension Forward Model. El modelo supone un campo magnético externo de 50000 nT, inc = 65 grados, dec = 0 grados, mientras que los objetivos inc, dec = 0 grados.