

Análisis de la Ficha Documental de Operación del GT-200

W. Luis Mochán Backal

20 de junio de 2011

1. Presentación

Soy el Dr. W. Luis Mochán Backal, Doctor en Ciencias (Física) e Investigador Titular C del Instituto de Ciencias Físicas (ICF) de la Universidad Nacional Autónoma de México, del cual fui el primer director. Soy miembro del Sistema Nacional de Investigadores con el Nivel III y he recibido reconocimientos por mi trabajo de investigación, como son la Medalla GAA y el premio de la Academia de la Investigación Científica (ahora Academia Mexicana de Ciencias), la Distinción UNAM para Jóvenes Académicos y la Medalla Marcos Moshinsky. Mi trabajo está enfocado a las propiedades electromagnéticas de la materia y a la óptica de superficies y óptica no lineal, temas en los que he publicado más de cien artículos científicos que han recibido más de mil cuatrocientas citas en la literatura científica. Varias revistas científicas indizadas de circulación internacional y del más alto nivel me han designado como árbitro y soy miembro del cuerpo Comité Editorial del New Journal of Physics. Además, he sido árbitro de proyectos de investigación nacionales y extranjeros. He impartido alrededor de cuatrocientas presentaciones en reuniones científicas y en seminarios periódicos y he dado más de ochenta cursos de licenciatura y posgrado, siendo el curso más frecuente el de *Electrodinámica* en el Posgrado en Ciencias Físicas de la UNAM y en el Posgrado en Ciencias de la UAEMor. Por los motivos anteriores, me siento capacitado desde el punto de vista técnico para juzgar la *Ficha Documental de Operación del GT-200*, documento que ha sido incluido en sus *Informes* por varios operadores del llamado *Sistema de Detección Molecular GT 200 (versión 5-2007)*, fabricado en Inglaterra por la compañía *Global Technical LTD.*. En particular, me referiré a la declaración *A.P.:PGR/SIEDO/UEIDCS/****/***** dirigida a la *Coordinación Técnica* de la *Subprocuraduría de Investigación Especializada en Delincuencia Organizada* por el operador del GT200 **** fechado el **** en ****. Sin embargo, otros informes que he revisado no difieren sustancialmente del aquí referido.

Para facilitar la lectura del presente documento, la sección 2 presenta un resumen de los resultados obtenidos del análisis contenido en la sección 3, donde se examinan una a una las aseveraciones contenidas en el informe citado arriba, haciendo referencia a una serie de apéndices donde se presenta el análisis detallado cuando éste sea relativamente largo y/o complejo. Este estudio se concentra en los las aseveraciones que mencionan los mecanismos físicos que pretenden explicar el supuesto funcionamiento del dispositivo. Otras consideraciones se presentan en la sección 4. Algunas aseveraciones no pueden discutirse sin hacer experimentos subsecuentes con el dispositivo mismo y sus operadores, los cuales pueden ser extremadamente sencillos, como los discutidos en la sección 5, y que permitirían, al margen de las falacias y errores contenidos en los informes presentados por los operadores y al margen de una discusión de los principios físicos enunciados, determinar de una manera clara, precisa y conclusiva si el GT-200 es o no un dispositivo capaz de detectar sustancias como las descritas en los informes y en las condiciones descritas. La realización e interpretación de estos experimentos no requeriría mayores conocimientos técnicos. Finalmente, la sección 6 contiene conclusiones y algunos comentarios finales. Posteriormente, se incluyen una serie de apéndices de carácter técnico para complementar el estudio.

2. Resultados

La *Ficha Documental de Operación del GT-200* incluida en los *Informes* de los operadores del *Sistema de Detección Molecular GT 200 (versión 5-2007)*, fabricado en Inglaterra por la compañía *Global Technical LTD.* adolece de un gran número de errores conceptuales, de frases sin significado que usan lenguaje científico fuera de contexto. Las frases que sí tienen significado son falsas y describen la operación de un equipo que no es compatible con los conocimientos científicos contemporáneos. Por ello, *se puede afirmar con la certeza que el equipo no funciona como afirma la Ficha Documental.* Además, *existen fuertes dudas sustentadas en argumentos técnicos de que el equipo funcione de manera alguna para detectar las sustancias que pretende detectar* sea cual fuese su mecanismo de operación. La única forma de lograr *certeza* consistiría en realizar una prueba con carácter *dobles ciegos*, la cual deberá ser certificada por las autoridades correspondientes, o, en su defecto, por organismos renombrados como la *Academia Mexicana de Ciencias* o el *Consejo Consultivo de Ciencias* de la Presidencia de la República, o por instituciones y dependencias abocadas a la investigación científica y de alto prestigio, como el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM.

3. Análisis

En esta sección se presentan una a una las aseveraciones textuales de la *Ficha Documental* para su subsecuente análisis crítico.

1. *Aseveración:* Todos los fenómenos del GT200 son debidos a los campos para y diamagnéticos.

Análisis: Falso. No existen campos *paramagnéticos* ni campos *diamagnéticos*. En la naturaleza existen *sustancias paramagnéticas y sustancias diamagnéticas*, términos que describen la respuesta de dichas sustancias a los campos magnéticos a que son sujetas. Un campo magnético puede *magnetizar* a dichas sustancias, las cuales a su vez pueden producir campos magnéticos inducidos. Una vez producidos, los campos magnéticos provenientes de sustancias diamagnéticas y paramagnéticas (así como otros tipos de sustancias) son indistinguibles y son descritos por el mismo juego de ecuaciones matemáticas.

2. *Aseveración:* Los campos paramagnéticos son característicos de su fuente.

Análisis: Falso. Como mencioné en el apartado 1, no existen los campos paramagnéticos. Sin embargo, los *campos magnéticos* producidos por materia paramagnética son indistinguibles de los campos magnéticos producidos por cualquier fuente, y por lo tanto *no son característicos de su fuente.*

3. *Aseveración:* Todos los materiales son generadores de campos diamagnéticos y la mayoría genera también campos paramagnéticos.

Análisis: Falso. Como mencioné en el apartado 1, los campos diamagnéticos y paramagnéticos *no existen*. Sin embargo, cuando cualquier material es sujeto a un campo magnético externo, su consecuente magnetización contiene una contribución diamagnética debida al flujo magnético que atraviesa las órbitas de sus electrones alrededor de los núcleos atómicos y su consecuente modificación. La magnetización de algunos materiales contiene además una contribución paramagnética debida a la tendencia de los electrones a alinear su dipolo magnético intrínseco al campo magnético auto-consistente.

4. *Aseveración:* Los campos para y diamagnéticos de la sustancia tienden a oponerse y se encuentran en los ángulos derechos de cada una.

Análisis: Falso. Como mencioné en el apartado 1, los campos para y diamagnéticos no existen. Sin embargo, *la contribución diamagnética* a la magnetización de materiales isotrópicos se opone al campo magnético que la

produce y la contribución paramagnética a la magnetización va en la misma dirección que el campo magnético que la produce. Es decir, son las contribuciones diamagnéticas y paramagnéticas a la magnetización las que tienden a oponerse.

Las líneas del campo magnético que producen las sustancias una vez magnetizadas son complejas y dependen de la geometría además de depender de la naturaleza de las sustancias. Estas líneas se cierran sobre si mismas, por lo que en el caso genérico el campo generado es oblicuo al campo magnético responsable de la magnetización, aunque en algunas regiones podría a puntar a favor y en otras regiones en contra, por lo cual no se puede hacer una aseveración genérica sobre su dirección.

El *ángulo derecho de cada una* es una frase sin sentido: las sustancias no tienen ángulos y el concepto de derecha e izquierda no es intrínseco de un objeto sino que depende del punto de vista del observador. Esta frase podría ser una referencia a la *regla de la mano derecha*, pero fuera de contexto y sin haberla comprendido en lo absoluto. Esta regla se emplea en electrodinámica y en otras áreas de la física y las matemáticas para determinar la dirección de un producto vectorial en términos de las direcciones de sus multiplicandos.

5. *Aseveración:* Los campos paramagnéticos parecen no interferir entre uno y otro y retienen su identidad.

Análisis: Falso. El campo magnético obedece el llamado *principio de superposición* que establece que, habiendo varias fuentes de campo, el campo magnético total es la *suma* de los campos producido por cada una de las fuentes de manera independiente. La única cantidad observable en una situación dada es el campo total. Los campos individuales pierden su identidad al momento de sumarse y no pueden reconocerse, independientemente de la naturaleza para o diamagnética de las sustancias que los originan.

6. *Aseveración:* Aquí existen comúnmente dos ejes paramagnéticos en los ángulos derechos de cada uno, pero algunas sustancias tienen más.

Análisis: Falso. El campo magnético es un campo vectorial y por lo tanto tiene una sola dirección en cada punto del espacio, nunca más. Sin embargo, la respuesta magnética de cualquier sustancia está descrita por un tensor simétrico de rango dos, el cual puede diagonalizarse siempre en *tres ejes principales*, independientemente de su naturaleza diamagnética o paramagnética, a lo largo de los cuales la respuesta magnética quedaría descrita por cada uno de *tres valores principales*. Estos tres valores son iguales entre sí en sustancias isotrópicas, pero pueden diferir en sustancias anisotrópicas. Las sustancias llamadas uniaxiales tienen dos valores principales iguales entre sí y uno distinto; las llamadas biaxiales tienen sus tres valores principales distintos entre sí. Sin embargo, todas las sustancias tienen tres ejes. Como mencioné en el apartado 4, hablar de los ángulos derechos de una sustancia o de un campo no tiene sentido alguno.

7. *Aseveración:* El sistema GT200 es direccionalmente sensible. La detección de la sustancia es generalmente determinada dentro de cierta distancia por la masa del material haciendo que se aumente el campo.

Análisis: Dudoso. De acuerdo al punto 8 y a la sección 4 el sistema no cuenta con suficiente energía para poder detectar nada y aún si la tuviera, el tipo de antena que emplea no le permitiría la suficiente resolución angular para poder localizar la sustancia buscada, ni siquiera mediante el proceso de triangulación. Resolver la duda aquí planteada requiere contar con el equipo y *realizar un experimento con el mismo*, como se sugiere en la sección 5. Además, sería indispensable que se presentaran *las patentes* que describen el equipo, *la norma oficial mexicana* en que la autoridad competente establezca cómo se debe emplear este equipo, y el *procedimiento de calibración* del mismo que permita saber que el equipo funciona como debe.

8. *Aseveración:* La electricidad estática generada por el cuerpo no es utilizada como parte del proceso de detección sino como la fuente de poder para la tarjeta sensora.

Análisis: Falso. El cuerpo no *genera* electricidad estática; el cuerpo está formado mayormente por agua y sales, por lo cual es conductor y la presencia del cuerpo elimina la energía electrostática de la región del espacio que ocupa. El movimiento del cuerpo podría cambiar la distribución de la energía electrostática en su entorno. Sin embargo, la energía asociada a dicho campo sería insuficiente para operar el equipo, como se muestra en los apéndices A, B, C, D y E. Efectivamente, el apéndice A muestra que la potencia electrostática disponible en condiciones típicas no supera las dos millonésimas de Watt. Incluso, suponiendo que el cuerpo generase el campo electrostático más grande que se puede generar en el aire, dicha potencia no llegaría a doscientas millonésimas de Watt, como muestra el apéndice B. Aunque sería posible generar más energía electrostática que la aquí estimada si se frotara continuamente el dispositivo empleando materiales tribológicos y si existieran mecanismos y circuitos para transferir a la tarjeta las cargas depositadas en el mango mediante el frotamiento, su ausencia permite descartar esta posibilidad. El apéndice C muestra que la potencia mecánica necesaria para simplemente rotar la antena es de más de tres miliwatts, sin sumar aún la energía requerida para detectar la sustancia. Por otro lado, el apéndice D muestra que al caminar, el operador transfiere más de treinta miliwatts al dispositivo por su movimiento mecánico, simplemente por cambiar su altura en un centímetro; transferir menos de tres miliwatts requeriría caminar sin que las fluctuaciones verticales superen un milímetro, lo cual no es factible. Finalmente, el apéndice E muestra que una pequeña desviación del pivote respecto al cual gira la antena de apenas cinco grados con respecto a la vertical proporcionaría suficiente energía para rotar la antena.

Esta parte del análisis conduce a la conclusión de que la antena se mueve no por la energía electrostática del operador, la cual sería insuficiente, sino por su energía mecánica, es decir *¡el operador mueve la antena!* Este es el conocido como *efecto ideomotor* típico de muchos detectores fraudulentos: conciente o inconcientemente el operador produce mecánicamente el movimiento del indicador y por lo tanto determina el resultado que arroja el detector. Siendo así, el detector sería tan bueno o tan malo para detectar sustancias como bueno o malo sea el mismo operador *cuando no cuenta con el detector*. Por lo tanto, la lectura del detector no debe tomarse como evidencia de presencia de sustancia alguna.

9. *Aseveración:* Función del equipo. . . El GT200 puede detectar simultáneamente varias y diferentes sustancias, por medio de la combinación de las tarjetas sensoras.

Análisis: Dudoso. Estos párrafos describen cómo podría emplearse el detector, bajo la premisa de que el detector funciona, lo cual es dudoso dado el resto del presente análisis.

10. *Aseveración:* Especificaciones: . . .

Método de detección: dia/para magnetismo. . .

Distancias de Detección Aproximadas:

Búsqueda General: $300m^2$

Localización de un objetivo Específico en Tierra: $700m$

Localización de un objetivo Específico en Mar: $1000m$ a $2000m$

Localización de un objetivo Específico en Aire: $3000m$ a $5000m$

. . .

Cantidad Detección Mínima: Trazas moleculares a nivel nanogramos

Análisis: Falso.

- a) El dato para la búsqueda general es confuso, pues la distancia no se mide en metros cuadrados. Suponiendo que el dato de $300m^2$ se refiere al área en que se puede hacer una búsqueda general, la misma correspondería a un círculo de radio $R \approx 10m$.

- b) El apéndice F muestra que aún *un kilogramo* de un muy buen imán permanente genera un campo magnético que decae a una distancia de apenas diez metros a un valor miles de veces menor que el campo terrestre.
- c) El mismo apéndice muestra que al cambiar dicho ferromagneto por la misma masa de sustancias diamagnéticas o paramagnéticas, el campo magnético que producen se vuelve entre decenas de millones y millones de millones de veces menor al campo terrestre.
- d) Es imposible detectar campos magnéticos tan pequeños sin eliminar el campo terrestre y es imposible eliminar el campo terrestre en el exterior de un laboratorio debidamente acondicionado.
- e) La Ficha Documental afirma que se pueden detectar nanogramos de sustancias a distancias de hasta $R = 700m$ en la tierra y hasta $R = 5,000m$ en el aire. El campo que produce un nanogramo de una sustancia a $5000m$ de distancia es 10^{-20} por el campo obtenido en los incisos anteriores, es decir, es *cientos millones de millones de millones de veces más chico que los campos considerados arriba*, los cuales a su vez muchísimos millones de veces más chicos que el campo terrestre.
- f) *No existe ninguna tecnología capaz de medir campos magnéticos tan pequeños.*

4. Otras consideraciones

En la sección anterior ha quedado demostrado plenamente que el supuesto *Detector Molecular GT200* no funciona como lo indica la *Ficha Documental*. Sin embargo, cabría preguntarse si pudiese haber otro fenómeno que pudiese explicar su funcionamiento.

Dada la presencia de una antena similar a las antenas que emplean algunos equipos de radio y de televisión, cabría preguntarse si el equipo usa radiación electromagnética. El apéndice G muestra que para que un kilogramo aproximado de materia a diez metros de distancia produzca una señal en el detector tan débil como la señal que una estación de radio de 100kW situada a una distancia de 50km, el GT200 tendría que emitir radiación electromagnética con una potencia de alrededor de doscientos cincuenta Watts. Sin embargo, el GT200, que no usa baterías y no tiene fuentes externas de poder, pretende detectar nanogramos de sustancias a distancias de cientos e incluso miles de metros, para lo cual requeriría 10^{28} veces (diez mil millones de millones de millones de millones de veces) mayor potencia! Hemos visto en el apéndice A que la energía electrostática apenas podría suministrar dos millonésimas de Watt. De hecho, un atleta entrenado podría producir potencias de apenas doscientos Watts y sólo durante unos instantes.

Esto demuestra que es imposible que el dispositivo sea capaz de detectar un kilogramo de una sustancia a una distancia de diez metros. Sería totalmente inconcebible que pudiese detectar unos cuantos nanogramos de una sustancia a varios cientos de metros de distancia, como afirma la *Ficha Documental*.

Como discute el apéndice H, la incertidumbre angular de un equipo que emplea una antena dipolar eléctrica es, suponiendo (sin conceder) que funcione, de alrededor de 66 grados, mucho mayor que el 5% que afirma la *Ficha Documental* y demasiado mala para poder localizar sustancia alguna.

En el apéndice G no se tomó en cuenta que el GT200 se usa sobre la superficie de la tierra y que la tierra es un material conductor. Sin embargo, como se discute en el apéndice I, la presencia de la tierra duplica a los momentos dipolares verticales y nulifica a los momentos dipolares horizontales. Como la configuración de la antena es horizontal, su capacidad de emitir y detectar radiación sería abatida por su orientación.

Por los motivos expresados en esta sección, se puede concluir que es imposible que el GT200 funcione empleando radiación electromagnética.

5. Experimento

El presente estudio da una serie de argumentos técnicos basados en la fenomenología y la teoría electromagnética que demuestran que es imposible que el llamado *Detector Molecular* GT200 funcione de manera alguna. Sin embargo, no es necesario ser experto en teoría electromagnética y no es necesario entender el mecanismo con que supuestamente opera el dispositivo para poder verificar si el mismo funciona o no, de la misma forma que no es necesario ser experto en telecomunicaciones para saber si una televisión o un teléfono celular cumplen o no con su función. Quién no sea un físico profesional podría dudar de la exactitud de los argumentos expuestos arriba y por lo tanto, podría dudar de las conclusiones a que conducen. La ciencia ha establecido que ante la duda razonable, lo que procede es *realizar un experimento*. Para que el experimento sea conclusivo y resuelva todas las dudas, debe ser un *experimento controlado*.

En el presente caso hay fuertes motivos para sospechar que la antena del GT200 se mueve de acuerdo a los deseos, concientes o no, de su operador, respondiendo a pequeños movimientos de su mano, los cuales hemos mostrado proporcionarían suficiente energía. Por ello, es importante que el experimento se realice de manera que *el operador no tenga información que le permita saber donde se halla la sustancia que busca más allá de la que le proporcione el detector*. Para garantizar que el operador no reciba información adicional voluntaria o involuntariamente por parte de ninguno de los testigos de la prueba, *la misma debe ser una prueba doble ciego*. Para garantizar que la casualidad y la suerte no jueguen ningún papel en los resultados de la prueba, *la misma debe repetirse un número adecuado de veces y los resultados deben analizarse estadísticamente*.

Una prueba consistente con los criterios anteriores podría ser tan simple como formar dos equipos, uno de los cuales esconde una sustancia en una de varias cajas opacas y otro equipo donde hay testigos y un operador experto del dispositivo quien deberá determinar en qué caja se halla escondida la sustancia. Los dos equipos no deben intercambiar información en ningún momento durante la realización de la prueba. El experimento debe repetirse muchas veces y si la probabilidad de éxito del dispositivo no difiere significativamente de la probabilidad de hallar la sustancia escogiendo al azar la caja que presumiblemente la contiene, *se habrá demostrado que el equipo no funciona*.

6. Conclusiones

En este estudio ha quedado demostrado que es imposible que el llamado *detector molecular* GT200 funcione tal y como afirma la *Ficha Documental* que forma parte del *Informe* referido en la introducción. Asimismo, se ha mostrado que hay argumentos científicos para dudar que el GT200 funcione de manera alguna y se han dado argumentos científicos que sugieren que el aparente funcionamiento y los éxitos ocasionales del GT200 se deben al efecto *ideomotor*, por lo cual en ningún caso debe considerarse al GT200 como un dispositivo capaz de detectar sustancia alguna bajo condición alguna. El GT200 es casi idéntico a otros supuestos detectores con nombres como *Quadro Tracker*, *Mole* y *DKL Lifeguard*, cuya nula efectividad y su carácter fraudulento ya han sido probados científicamente. Al margen de los argumentos empleados, cuya comprensión requiere un entrenamiento científico, se podría determinar si el equipo funciona o no realizando un simple experimento controlado del tipo *doble ciego*.

Una vez que se haya demostrado que el GT200 no funciona su uso debería prohibirse por las fuerzas de seguridad y armadas. Cada *falso negativo* que arroja el dispositivo pone en peligro a sus operadores y a soldados, marinos y policías que cuentan con su capacidad de detección, y cada *falso positivo* pone en riesgo a ciudadanos inocentes sobre los cuales recaerían sospechas injustificadas.

Apéndices

En esta sección se incluyen apéndices que respaldan con cálculos empleando la teoría electromagnética las aseveraciones mostradas arriba. Los cálculos se llevan a cabo empleando la versión CGS-Gaussiana de las ecuaciones de Maxwell, pero los resultados finales se presentan en las unidades SI. Para simplificar la notación, en ocasiones empleamos los mismos símbolos con distinto significado y distinto valor, pero siempre aclarando qué denotan en cada contexto en el que aparecen. Por simplicidad, todos los resultados se han redondeado a sólo una o dos cifras significativas. En ocasiones, dicho redondeo se realiza en resultados intermedios, lo cual produce una pequeña acumulación de errores de redondeo. Sin embargo, estos son irrelevantes en cuanto a su posible impacto sobre las conclusiones del estudio.

A. Energía electrostática disponible: polarización del cuerpo humano

El campo electrostático en la atmósfera terrestre es típicamente del orden de $E = 200V/m = 6.7 \times 10^{-3} sV/cm$. El cambio en la energía de dicho campo electrostático por la presencia del cuerpo humano, un conductor, es $\mathcal{E} = \alpha E^2/2$, donde α es la *polarizabilidad* del cuerpo humano. Dado que el cuerpo humano es un conductor de electricidad, su polarizabilidad es menor a $\alpha_m = h^3/8$, donde h es la altura del cuerpo humano, la cual rara vez supera los dos metros $h < h_m = 200cm$. Por lo tanto $\mathcal{E} < 20 \text{ ergs} = 2\mu J$, es decir, dos millonésimas de Joule. Suponiendo (sin conceder) que toda esta energía pueda emplearse en un ciclo para alimentar al equipo y que los ciclos estén sincronizados con los procesos vitales del operador como son su respiración, su ritmo cardiaco o sus pasos, el tiempo característico para transferir esta energía sería de no menos de $T = 1s$. Por lo tanto, la potencia electrostática transferida al equipo sería de $\mathcal{P} = 2\mu W$, es decir, dos millonésimas de Watt.

B. Energía electrostática disponible: rompimiento dieléctrico

Suponiendo (sin conceder) que por algún mecanismo el campo electrostático producido por el cuerpo pudiese incrementarse durante la operación del equipo, éste estaría acotado por el umbral $E \approx 3 \times 10^6 V/M \approx 100 sV/cm$ de rompimiento dieléctrico del aire. Si el campo fuese mayor, el aire se volvería conductor y procedería una descarga eléctrica que disiparía la energía que se hubiese acumulado. Coloquialmente, *saltarían chispas*. La densidad de energía en la región ocupada por dicho campo sería $u = E^2/8\pi \approx 400 \text{ ergs/cm}^3 = 40 \mu J/cm^3$. La especificación de las tarjetas que supuestamente se alimentan de la energía electrostática no forma parte de la *Ficha Documental*, pero fotografías y videos muestran que son similares a tarjetas de crédito, cuyo volumen no supera $\Omega = 5cm^3$. Por lo tanto, la energía electrostática que podría alimentarlas en un ciclo sería menor a $\mathcal{E} = u \times \Omega = 2,000 \text{ ergs} = 200 \mu J$. (En realidad, dicha energía sería entre 2 y 10 veces menor a la aquí estimada debido a la despolarización dieléctrica del material con que se forma la tarjeta). Suponiendo (sin conceder), como en el apéndice A, que el ciclo de carga del dispositivo es $T = 1s$, la potencia disponible para alimentar a la tarjeta sensora sería menor a $\mathcal{P} = 200\mu W$.

C. Energía para rotar la antena

Aunque la *Ficha Documental* no especifica la longitud de la antena, sí especifica la longitud del equipo, la cual es de 27cm. Ésta supera ligeramente la longitud de la antena colapsada, la cual es de aproximadamente $L = 25cm$, de acuerdo a fotos del equipo. A partir de las mismas, se puede observar que el radio de la antena en su base es mayor a $r = 0.3cm$, por lo cual el volumen de la antena colapsada es de aproximadamente $\Omega = \pi r^2 L \approx 7cm^3$. La Ficha Documental no especifica de qué material está hecha la antena, pero la densidad del aluminio es de las más bajas de todos los metales, por lo cual la densidad es mayor a $\rho = 2.7gr/cm^3$. Por tanto, la masa de la antena es mayor a

$M = \rho\Omega \approx 19\text{gr}$. El momento de inercia de la antena colapsada es $I = ML^2/3 \approx 4,000\text{gr cm}^2$. Los videos muestran que cuando el detector supuestamente detecta la sustancia buscada, la antena rota un ángulo $\theta = 90\text{grados} = \pi/2$ (radianes) en un tiempo aproximado de $T = 1\text{s}$ para luego regresar a su orientación original. Por lo tanto, a la mitad de su trayectoria alcanza su velocidad angular máxima $\omega = (\pi/2)/(T/2) \approx 3\text{s}^{-1}$. La energía cinética rotacional de la antena es entonces $\mathcal{K} = I\omega^2/2 \approx 1.7 \times 10^4\text{ergs} = 1.7\text{mJ}$, es decir, más de una milésima de Joule. Al extender la antena, su momento de inercia y por lo tanto su energía cinética de rotación se incrementaría. Como esta energía se transfiere a la antena en un tiempo $T/2$, la potencia requerida es mayor a $\mathcal{P} = 3.4\text{mW}$.

D. Energía gravitacional del dispositivo

Para poner en perspectiva los resultados de los apéndices B y A, en este apéndice calculamos los cambios en la energía gravitacional del dispositivo conforme el operador camina. De acuerdo a las especificaciones, la masa del equipo es de $m = 180\text{gr}$. Conforme el operador inspecciona el terreno la altura del equipo fluctua por el movimiento natural del cuerpo una distancia acotada por cierta distancia h . El cambio en la energía potencial del equipo es entonces $U = mgh$. La potencia mecánica transferida al equipo en medio ciclo sería entonces $\mathcal{P} = 2U/T$. Podríamos ignorar este intercambio de energía sólo si fuera mucho menor a la potencia $\mathcal{P} = 3.4\text{mW}$ transferida al movimiento rotacional de la antena calculada en el apéndice C, lo cual sólo sería posible si $h = \mathcal{P}/2mg \approx 0.1\text{cm}$, es decir, si la altura del detector variase más de un milímetros conforme su operador camina, el trabajo mecánico realizado por el operador superaría la energía requerida para rotar la antena. Las fluctuaciones reales en la altura de la mano son al menos de un orden de magnitud mayor, correspondientes a una potencia mayor a 34mW .

E. Requisito de verticalidad

La potencia rotacional transmitida a la antena cuando su eje de rotación se aleja de la vertical puede calcularse como $\mathcal{P} = \tau\omega$ donde τ es la torca y ω es la velocidad angular de rotación alrededor del eje. En la sección C mencionamos que la antena hace un recorrido de $\pi/2$ radianes en un tiempo cercano a $T = 1\text{s}$, por lo cual la velocidad angular característica es $\omega = \pi/2T \approx 1.6\text{s}^{-1}$ y la potencia transferida a la antena en la primera parte de la rotación es del orden de $\mathcal{P} = 3.4\text{mW} = 3.4 \times 10^4\text{ergs/s}$. Si el pivote de rotación de la antena se desalineara un pequeño ángulo θ respecto a la dirección vertical, la aceleración de la gravedad actuando sobre la antena generaría una torca $\tau = ML_0g \sin \theta \approx ML_0g\theta$ donde L_0 es la distancia del centro de masa de la antena respecto al pivote y $g = 981\text{cm/s}^2$ la aceleración de la gravedad. En la sección C estimamos que la masa de la antena no es menor a $M = 19\text{gr}$ y el centro de gravedad de la antena colapsada se halla a una distancia $L_0 \approx L/2 \approx 12.5\text{cm}$ del pivote, donde $L \approx 25\text{cm}$ es la longitud de la antena colapsada. Para garantizar que los giros de la mano del operador no afecten la operación del detector, es necesario que sean mucho menores a $\theta = \mathcal{P}/(M\omega L_0g) \approx 0.09\text{radianes} \approx 5\text{grados}$, menos de una y media centésimas de vuelta. Experimentos simples con una burbuja calibrada muestran que al caminar tranquilamente siempre hay presentes fluctuaciones de la orientación que superan los diez grados.

F. Campo magnético producido por un kilogramo de varias sustancias a una distancia de diez metros

Los movimientos de cargas en el interior de la Tierra generan un campo magnético en su superficie, cuyo valor varía ligeramente con la posición, pero que es menor que su valor en los polos, dado por $B_t = 0.6\text{G}$. Éste es el campo magnético terrestre responsable de alinear las brújulas hacia el polo norte.

Considere un ferromagneto de alta remanencia, como el Alnico V. Su magnetización puede llegar a ser de aproximadamente $\mathcal{M} = 10^3 G$. Su densidad es $\rho = 7.3 \text{gr/cm}^3$. Por lo tanto, el momento dipolar magnético de una masa $M = 1 \text{kg}$ de Alnico V sería de $m = \mathcal{M}M/\rho \approx 1.4 \times 10^5 \text{emu}$. El campo magnético producido por un dipolo magnético es $\vec{B} = (3\vec{m} \cdot \vec{r}\vec{r} - \vec{m}r^2)/r^5$, por lo cual el campo máximo que puede producir un kilogramo de Alnico V a una distancia de $R = 10m = 10^3 \text{cm}$ es $B = 2|m|/R^3 \approx 2.8 \times 10^{-4} G$. Este campo es *más de dos mil veces menor que el campo terrestre*. Sin embargo, *el campo producido por materiales para/diamagnéticos es todavía mucho más pequeño*, como se muestra a continuación.

En contraste con los ferromagnetos, las sustancias paramagnéticas y diamagnéticas *no* tienen un momento magnético permanente, sino que adquieren un momento magnético cuando se hallan en presencia de un campo que las polariza. En ausencia de una fuente de campo magnético, la materia en la superficie de la tierra se magnetiza por el campo magnético terrestre.

Un ejemplo de sustancia diamagnética típica es el agua. Su permeabilidad magnética (relativa) es $\mu = 0.999992$, por lo cual su susceptibilidad es $\chi = (\mu - 1)/4\pi \approx -6 \times 10^{-7}$. La materia viva está mayormente compuesta de agua, y la susceptibilidad obtenida arriba es del orden de magnitud de la susceptibilidad de la mayor parte de las sustancias diamagnéticas. La magnetización de una masa de agua contenida en un cilindro largo alineado con el campo terrestre y colocado sobre la superficie de la tierra $M = \chi B_t \approx -3.6 \times 10^{-7} G$. La densidad del agua es aproximadamente $\rho = 1 \text{gr/cm}^3$ por lo cual el momento dipolar magnético de un kilogramo de agua en la superficie de la tierra es $m = 10^3 M/\rho = -3.6 \times 10^{-4} \text{emu}$. El campo magnético máximo producido por esta masa de agua a una distancia de $r = 10m$ es $B = 2|m|/R^3 \approx 7 \times 10^{-13} G$. Este campo es casi un billón (un millón de millones) de veces más pequeño que el campo terrestre.

Uno de los materiales paramagnético con la mayor permeabilidad es el platino, cuya permeabilidad es $\mu = 1.000265$ y cuya densidad es $\rho = 21 \text{g/cm}^3$. Repitiendo el análisis anterior para un kilogramo de platino se obtiene el resultado $B = 1.2 \times 10^{-12} G$, quinientos mil millones de veces más chico que el campo terrestre.

Las conclusiones cualitativas obtenidas arriba son válida aún para materiales superconductores. Estos son *diamagnetos perfectos* cuya permeabilidad es $\mu = 0$. Por lo tanto, su susceptibilidad es $\chi = -0.08$. Aunque ésta es más de cien mil veces mayor que la susceptibilidad del agua, el campo que produciría un kilogramo de un superconductor apenas sería decenas de veces menor que la millonésima parte del campo terrestre. Cambios en la geometría producirían sólo pequeños cambios en los resultados anteriores debidos a la depolarización magnética.

En todos los casos, obtenemos que el campo producido por un kilogramo de una sustancia colocada a diez metros del detector es muchos órdenes de magnitud menor que el campo magnético de la tierra.

G. Detección electromagnética

La antena del GT200 tiene una longitud aproximada de $L = 25 \text{cm}$ cuando se halla colapsada y puede extenderse aproximadamente hasta el doble de dicha longitud. La antena esta formada por un conductor y su geometría es recta. Por lo tanto, *es una antena dipolar-eléctrica*. La eficiencia de las antenas de dicha clase es máxima cuando su longitud es un cuarto de la longitud de onda de la radiación que pretenden detectar. Por lo tanto, la longitud de onda corresponde a la banda de un metro, $\lambda \approx 1 \text{m}$. La frecuencia característica de dicha banda es $\nu = c/\lambda \approx 300 \text{MHz}$, donde $c \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$ es la velocidad de la luz. Es importante notar que a dichas frecuencias la susceptibilidad diamagnética y paramagnética de la mayoría de las sustancias es despreciablemente pequeña. Sin embargo, podrían tener una respuesta dieléctrica apreciable. La susceptibilidad eléctrica de todas las sustancias *en estado condensado* es de orden $\chi = 0.1, 1$. Por lo tanto, el dipolo eléctrico p adquirido por un litro de un material cualquiera, que pesa alrededor de uno o unos pocos kilogramos, sería $p = \alpha E$, donde E es el campo eléctrico de la onda electromagnética que lo polariza y $\alpha \approx 10^3 \text{cm}^3$ la polarizabilidad. La potencia radiada por dicho dipolo es $\mathcal{P}_r = 16\pi^4 \nu^4 |p|^2 / 3c^3$. El campo E que polariza al sistema vendría presumiblemente del mismo GT200, por lo cual dicho campo puede

relacionarse con la intensidad I de la radiación producida por el dispositivo, $|E|^2 = 8\pi I/c$. La intensidad puede relacionarse a su vez con la potencia \mathcal{P} radiada por la antena. La intensidad máxima que puede producir una antena dipolar eléctrica a una distancia R es $I = 3\mathcal{P}/8\pi R^2$, por lo que podemos relacionar la potencia radiada por el dipolo con la potencia radiada por el detector: $\mathcal{P}_r = 16\pi^4 \nu^4 \alpha^2 \mathcal{P}/c^4 R^2$. La intensidad máxima que puede recibir el detector es $I_r = 3\mathcal{P}_r/8\pi R^2 = 6\pi^3 \nu^4 \alpha^2 \mathcal{P}/c^4 R^4$. Sustituyendo los valores estimados arriba y a una distancia de diez metros de la sustancia, obtenemos $I_r \approx 2 \times 10^{-12} \mathcal{P}/\text{cm}^2$

Para poner en perspectiva este resultado, considere una estación de radio típica que transmita con una potencia de 100kW. La intensidad en un receptor situado a 50km de distancia sería $I_* \approx 5 \times 10^{-10} \text{W}/\text{cm}^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ergs}/s \text{cm}^2$. Para poder generar una señal en la antena del detector de la misma intensidad, el GT200 debería emitir radiación electromagnética con una potencia $\mathcal{P} \approx 250W$.

Resumiendo este apéndice, para que el GT200 pudiese polarizar un kilogramo de material cuya radiación electromagnética sea de una intensidad similar a la que recibiría un radio-receptor a una distancia de 50km de un radiotransmisor comercial típico, tendría que emitir radiación electromagnética de más de doscientos cincuenta Watts.

H. Resolución angular

Suponiendo (sin conceder) que el detector funcionara a través de la radiación electromagnética que emiten las sustancias, la sensibilidad de la antena dipolar a la radiación producida del ángulo como $\sin^2 \theta$ donde θ es el ángulo hacia donde se encuentra la sustancia a detectar con respecto al eje de la antena. Además, la intensidad con que la antena excita a la sustancia para emitir su radiación también depende del ángulo como $\sin^2 \theta$. Por lo tanto, la sensibilidad total de la antena variaría como $\sin^4 \theta$. El valor máximo de dicha sensibilidad corresponde a un ángulo de 90 grados con respecto a la dirección de la antena. La sensibilidad caería a la mitad de su valor máximo a los ángulos $\theta \approx 57$ y 123 grados. Por lo tanto la resolución angular del equipo sería de ± 33 grados y la incertidumbre en la dirección en la que se hallan las sustancias sería de 66 grados. Este resultado contradice la afirmación de que la convergencia del ángulo de detección es menor o igual a cinco por ciento.

I. Conductividad del suelo

Como se discute en el apéndice G, el GT200 emplea una antena dipolar eléctrica. Sin embargo, aún a radio-frecuencias altas, *la tierra se comporta como un buen conductor*. Es bien conocido que en el interior de un buen conductor no pueden existir campos eléctricos; de existir un campo eléctrico, el mismo provocaría un movimiento de las cargas de conducción del sistema las cuales lo *apantallarían* de inmediato. Una consecuencia de este movimiento de cargas es el que al colocar una carga eléctrica sobre la superficie de la tierra, aparece una fuente adicional de campo electromagnético dado por una carga efectiva idéntica pero de signo opuesto colocada dentro de la tierra, a la misma distancia de la superficie. Esta se conoce como la *carga imagen*. Por el mismo motivo, un dipolo vertical va acompañado de un dipolo idéntico del otro lado de la superficie de la tierra, por lo cual el momento dipolar efectivo de un dipolo vertical es el doble del momento del dipolo externo. Sin embargo, *un dipolo horizontal se acompaña de un dipolo imagen igual y opuesto al dipolo externo, por lo cual el dipolo horizontal efectivo es nulo*. Es por ello que *las antenas dipolares transmisoras de ondas de radio, como las torres de las radiotransmisoras son verticales*.

El GT200 opera con una antena dipolar ¡orientada horizontalmente!