

# DME

Ing. J.O. García (jgarcia@efn.uncor.edu)

25/10/2012

## Índice

1. Introducción	1
2. Principio de funcionamiento	2
2.1. Equipo de tierra . . . . .	5
2.2. Equipo de a bordo . . . . .	6
2.2.1. Indicador DME . . . . .	6
2.2.2. Localización de la antena en la aeronave . . . . .	7
2.3. Mediciones erróneas . . . . .	8
3. Exactitud del sistema	9
4. Ventajas y desventajas del sistema	10

## 1. Introducción

El equipo medidor de distancias **DME!** (**DME!**) es un sistema electrónico que permite establecer la distancia entre éste y una estación emisora, reemplazando a las radiobalizas en muchas instalaciones. Generalmente ligado a la aeronáutica, el DME es uno de los sistemas de ayuda a la navegación habitualmente presentes en cualquier aeronave.

Proporciona una medición de la distancia (según la velocidad) al suelo (groundspeed). La frecuencia está comprendida entre 962 y 1213 MHz (banda UHF) de 200 canales, que puede trabajar con una única frecuencia para el DME o estar asociado a otra radioayuda como un VOR, ILS o MLS. En equipos antiguos la frecuencia se selecciona sintonizándolo en el equipo como una radio típica, pero en equipos actuales se selecciona automáticamente al sintonizar la radioayuda a la que está asociado. Ya que un avión dispone de dos frecuencias de navegación utilizables al mismo tiempo, el selector del DME permite indicar qué equipo de navegación queremos que nos indique la distancia. Algunos también disponen de la opción HOLD, en la que al pasar de una lectura DME de un equipo a esa posición guarda en la memoria la frecuencia que estaba usando, teniendo así la posibilidad de cambiar de VOR, ILS o MLS en un HSI, RMI o RBI sin perder la medición de la distancia anterior. Esta opción es muy útil en vuelos IFR en los que la salida estándar instrumental del aeropuerto (SID) requiere cambios de radioayuda frecuente pero se basa en una única medición de DME.

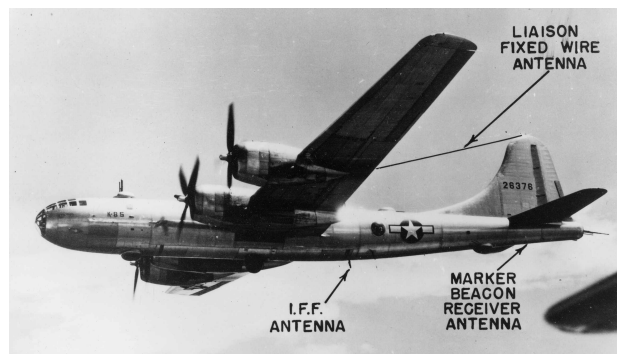
El **DME!** fue inventado en Australia por Edward George “Taffy” Bowen mientras se desempeñaba como Jefe de la División de Radiofísica en la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Otra versión fue desarrollada por la Amalgamated Wireless Australasia Limited

a principio de la década de 1950 operando en la banda de los 200 MHz VHF. Esta versión doméstica australiana se la denomina DME(D), de *Domestic*, y la versión adoptada por la OACI es la DME(I). El sistema fue un desarrollo post-guerra del IFF (Identification Friend or Foe), identificador amigo-enemigo, utilizado en la Segunda Guerra Mundial, es un sistema de identificación criptográfica. Dentro del campo militar, sirve para distinguir a aeronaves o a vehículos enemigos de los que no lo son.

Su funcionamiento se basa en la respuesta a una interrogación hecha por otro sistema. En función de si la respuesta es correcta o no, se identificará como amigo o enemigo.



(a)



(b)

Figura 1: Sistema IFF

## 2. Principio de funcionamiento

El avión interroga con una secuencia de pares de pulsos separados  $12 \mu\text{seg}$ . El equipo de tierra que recibe esta señal la retransmite de nuevo con un retardo de  $50 \mu\text{seg}$ . El equipo del avión calcula el tiempo transcurrido desde que preguntó, le descuenta  $50 \mu\text{seg}$  y lo divide por dos. Este tiempo se multiplica por la velocidad de la luz ( $300 \text{ m}/\mu\text{seg}$ ), dando la distancia al equipo de tierra.

La distancia indicada por el equipo, denominada distancia oblicua, no corresponde a la distancia que separa a la aeronave de la estación en el plano horizontal, pero a distancias grandes es muy aproximada. No obstante al acercarse a la vertical de la estación, el error va aumentando y sobre la vertical, en el caso de que existiese cobertura, la distancia indicada sería igual a la altura.

Dado que son las aeronaves las que transmiten los pulsos de interrogación, puede darse el caso, y de hecho se da, que lo hagan varias a la vez. Estas interrogaciones llegarán al transpondedor que generará y emitirá los pulsos de respuesta todos en la misma frecuencia. Entonces tenemos un montón de pulsos en el espacio y cada aeronave tiene que encontrar la forma de distinguir los que son respuestas a sus interrogaciones para calcular su distancia a la estación.

La forma de distinguirlos consiste en generar los pulsos de interrogación con una frecuencia de repetición de pulsos cambiante, es decir, separando los pares de pulsos por un tiempo aleatorio pero que queda memorizado en el interrogador. Al recibir los pulsos de respuesta, se van comparando con la secuencia memorizada y cuando coinciden se sabe que son los correspondientes a las interrogaciones propias. Entonces solo queda calcular la distancia por el método descrito.

Lo indicado anteriormente resuelve el problema para el interrogador, pero no para el transpondedor de tierra cuya capacidad de respuestas no es ilimitada. Con el fin de aumentar el número de aeronaves

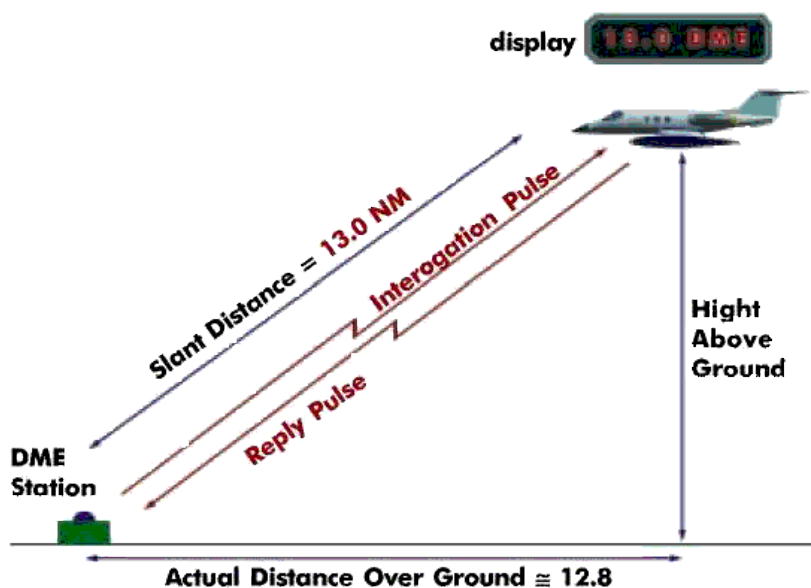


Figura 2: Principio funcionamiento DME fuelle: [http://www.ivaoth.org/training/how\\_to/how\\_to\\_dme\\_arc.htm](http://www.ivaoth.org/training/how_to/how_to_dme_arc.htm)

que pueden obtener información de distancia a la vez sin saturar la capacidad del transpondedor, se programa a los interrogadores para que hagan su trabajo en dos fases distintas:

- **Función Búsqueda:** es la fase inicial cuando se sintoniza una estación de tierra. En ella el número de interrogaciones es muy elevado, unas 150 por segundo, para intentar establecer un valor inicial de la distancia con un error menor de 20 NM. Esta fase no durará más de 20 segundos.
- **Función Seguimiento:** una vez que el interrogador ha determinado la distancia aproximada a la que se encuentra de la estación, se entra en esta fase en la que el ritmo de interrogaciones desciende hasta unas 25 por segundo. Ahora el objetivo es aumentar la precisión con que se conoce la distancia medida y realizar un seguimiento de la aeronave en su desplazamiento.

Teniendo en cuenta el número máximo de interrogaciones en cada una de las dos fases, se establece un número máximo total de 100 aeronaves que pueden utilizar una estación DME de forma simultánea. Con estas 100 aeronaves, el transpondedor estaría transmitiendo 2700 pares de pulsos por segundo. Además de las respuestas a las interrogaciones recibidas, el transpondedor transmite una identificación formada por tres letras en código Morse e idéntica a la transmitida por la estación de información acimutal (Localizador o VOR) a la que esté asociado. Esta identificación consiste en la transmisión de pares de pulsos a razón de 1350 pares por segundo. Los pares de pulsos se transmiten cada aproximadamente 40 segundos.

Con el fin de optimizar el funcionamiento del transmisor del transpondedor, sobre todo de los antiguos que funcionaban a válvulas, este se diseña para una transmisión continua mínima de 700 pares por segundo, excepto durante la transmisión de los pares de pulsos de interrogación. Cuando el número de aeronaves está por debajo de este valor mínimo, el transpondedor genera unos pulsos de relleno llamados *squitter* que sirven para mantener constante el ciclo de trabajo del transmisor. Es decir, aunque no haya ninguna aeronave interrogándolo, el transpondedor siempre está transmitiendo pulsos, bien de identificación o *squitter*.

Resumiendo todo lo anterior, se puede decir que en el tren continuo de pulsos transmitidos por el transpondedor se encuentran de forma aleatoria:

- Respuestas a interrogaciones
- Pares de pulsos de identificación
- Pulsos de squitter.

En caso de que el número de aeronaves que están interrogando a la vez llegase al 90 % del valor máximo de 2700 pares por segundo, el sistema de supervisión del transpondedor disminuye la sensibilidad del receptor para eliminar las interrogaciones de aeronaves muy distantes que al llegar más débiles se rechazarán en el receptor. Llevamos mucho rato hablando de los pares de pulsos sin todavía haber aclarado un poco sus características, así que vamos a hacerlo ahora. Como podemos ver en la figura, cada interrogación y su correspondiente respuesta está formada por una serie de pares de pulsos de radiofrecuencia. La duración de estos pulsos en los puntos de amplitud media es de 3.5 ms ( 1 microsegundo = 0.000001 s) y la separación entre los dos pulsos del par es de 12 ms tanto en la interrogación como en la respuesta en el caso de canales X. Con el fin de aumentar el número de canales dentro de la misma banda de frecuencias, OACI establece otros canales denominados canales Y en los cuales la separación entre pulsos es de 36 ms en la interrogación y 30 ms en la respuesta. La forma del pulso es la de una campana de Gauss, ver Figura 3.

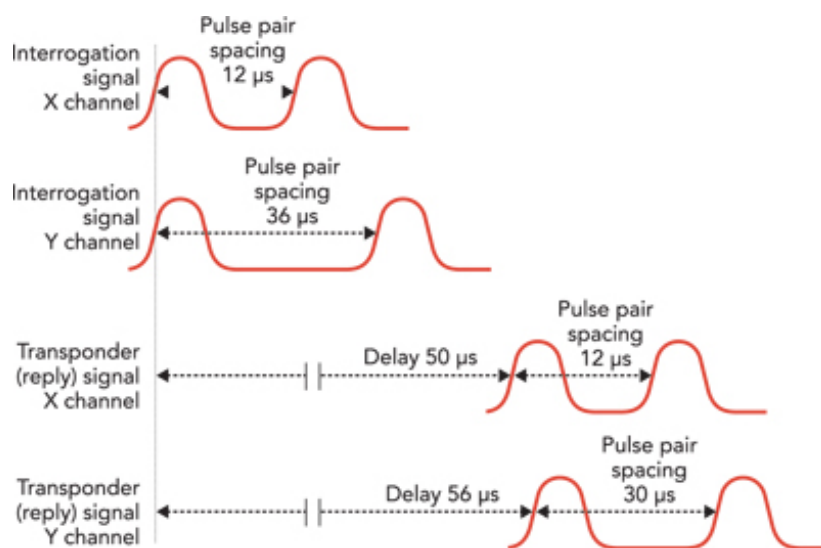


Figura 3: Modos X e Y fuente: <http://www.tmworld.com/electronics-news/4386082/Signal-generator-power-sensor-test-DME-4386082>

En la Figura 4, si el piloto selecciona el canal Nro 1, en el modo X (1X), el equipo de a bordo del DME envía su par de interrogación en una frecuencia de 1025 MHz y la estación de tierra responde con un par en una frecuencia de 962 MHz, la cual se encuentra desplazada 63 MHz de la enviada por la aeronave.

Como hemos dicho la separación entre pares de pulsos se genera de forma aleatoria en el interrogador. Cuando el DME se utiliza para proporcionar la función de distancia del ILS, se instala en el mismo emplazamiento que la Senda de Planeo de forma que la antena del DME se encuentre próxima al umbral que, como hemos dicho, será la referencia de distancia cero durante la aproximación. En este caso el indicativo del DME es igual al transmitido por el Localizador y se asocia con este de forma que de cada cuatro señales de indicativo, tres sean transmitidas por el Localizador y una por el DME.

X Mode	Aircraft DME reception		Aircraft DME transmission				Aircraft DME reception	
	1X	63X	1X	63X	64X	126X	64X	126X
Y Mode			Aircraft DME transmission					
			1Y	63Y	64Y	126Y		
			Aircraft DME reception					
			64Y	126Y	1Y	63Y		
	962	1024	1025	1087	1088	1150	1151	1213
	MHz							

Figura 4: Modos X e Y fente: <http://aelmahmoudy.users.sourceforge.net/electronix/egair/radar.htm>

Con el fin de aumentar la precisión para ser utilizado con el Sistema de Aterrizaje por Microondas (MLS: Microwave Landing System), OACI ha definido el denominado DME de precisión (DME/P) en el cual se modifica la forma de los pulsos para aumentar la precisión al medir los tiempos entre interrogaciones y respuestas.

Cuando el DME está instalado junto con un ILS, debe proporcionar cobertura desde por lo menos la cobertura del Localizador hasta el umbral en el sector de cobertura acimutal del Localizador. En este volumen de cobertura la precisión de la medida de distancia proporcionada por el DME estará comprendida entre 370 m y el 0.25 % de la distancia.

La información de distancia obtenida por el DME se le presenta al piloto en millas náuticas (1 NM = 1852 m) en el propio instrumento DME de a bordo así como en otros instrumentos que combinan varias informaciones y facilitan su lectura al piloto.

## 2.1. Equipo de tierra

En la Figura 5 se observa un diagrama de bloques de la estación de tierra del DME, siendo son sus principales elementos:

- **Fuente de alimentación:** se encarga de generar las tensiones necesarias en cada bloque o tarjeta de circuito impreso a partir de la alimentación en corriente alterna.
- **Antena:** normalmente está formada por un apilamiento de dipolos verticales y se encarga de recibir las interrogaciones de los aviones y transmitir las respuestas. Tiene polarización vertical. Cuando el DME está asociado con el ILS, la antena normalmente suele ser directiva para que solo se tenga cobertura en la zona de aproximación.
- **Acoplador o circulador:** se encarga de separar las señales recibidas de las transmitidas ya que como hemos dicho antes, la antena es común.
- **Receptor:** a partir de la señal de radiofrecuencia, obtiene los pulsos de interrogación como señal detectada.
- **Decodificador:** comprueba el espaciado de los pulsos para detectar interrogaciones válidas, es decir, aquellas en las que dicho espaciado es de 12 ms o 36 ms dependiendo del canal de que se trate. Produce un pulso de control que sirve para generar las respuestas. Con el fin de evitar



responder a pares de pulsos procedentes de interrogaciones reflejadas en objetos u obstáculos naturales y que darían lugar a errores en el interrogador, el decodificador produce un bloqueo del receptor durante unos 60 ms una vez que ha detectado una interrogación válida.

- **Retardo principal:** con el fin de homogeneizar el retardo que se produce en los distintos tipos de transpondedores durante la detección y generación de respuestas, se introduce un retardo para conseguir que en todos sea igual a 50 ms. Este retardo se restará después en el interrogador a la hora de calcular la distancia. En el caso de un DME asociado a un ILS, este retardo principal se modifica para que la referencia de distancia cero corresponda con el umbral. Si la distancia de la antena del DME al umbral es de 300 m, teniendo en cuenta que la velocidad de propagación de la radiofrecuencia en el aire es de aproximadamente  $300000 \text{ Km/s} = 300 \text{ m/ms}$ , tendremos que el retardo tendrá que ser de 48 ms para que el interrogador indique cero en el umbral.
- **Codificador:** con cada pulso de control genera un par de pulsos con las características y espaciado requerido. También genera los pulsos correspondientes a la identificación.
- **Transmisor:** se encarga de modular la señal portadora con los pulsos proporcionados por el codificador.
- **Sistema de supervisión:** es el encargado de controlar que la señal radiada y los parámetros del equipo de tierra se encuentran dentro de las tolerancias establecidas. Dado que en el DME es necesario comprobar el buen funcionamiento tanto del transmisor como del receptor, dentro del sistema de supervisión se generan unas señales de interrogación de prueba que se inyectan en el camino de recepción antes del receptor. El sistema de supervisión comprueba el correcto tratamiento (recepción y detección) de estas interrogaciones de prueba y determina el estado del canal de recepción.
- **Unidad de control local:** con la información proporcionada por el sistema de supervisión sobre el estado de las parámetros de la estación, esta unidad establece el funcionamiento del sistema realizando una transferencia de equipo o cesando la radiación.
- **Unidad de control remoto:** permite supervisar y controlar la instalación desde un emplazamiento remoto.

Todos los elementos descritos, a excepción de la antena y las unidades de control, se encuentran duplicados.

## 2.2. Equipo de a bordo

### 2.2.1. Indicador DME

DME permite a las aeronaves para establecer su rango a la estación de tierra: La distancia en millas náuticas, la velocidad en nudos de tierra, el tiempo de vuelo a la estación en cuestión de minutos. La interpretación es directa. El piloto puede leer directamente desde el receptor de la distancia, y en su caso la velocidad del recorrido y el tiempo para la estación. En la Figura 7(a) puede apreciarse un equipo comercial y en la Figura 6 la información brindada por el equipo.



(a) Instalación terrestre de un DME(D) en Melbourne/Essendon, alrededor de la década de 1960. fuente: <http://http://http://www.airwaysmuseum.com/Aus%20DME%20installation%20external.htm>



(b) Instalación terrestre de un DME actual  
fuente: <http://http://www.systemsinterface.com/Systems/Nav aids/DME/tabid/440/Default.aspx>

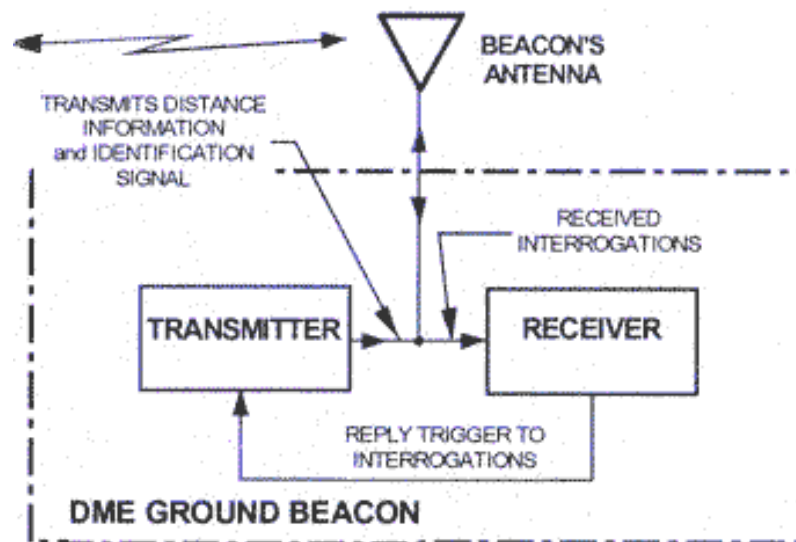


Figura 5: Diagrama de bloques del Equipo DME en tierra fuente: <http://www.thalesatminc.com/Technology/DME415.htm>

### 2.2.2. Localización de la antena en la aeronave

La antena DME de la estación emite una señal de radiofrecuencia VHF en todas direcciones, que es recibida por el equipo VOR de cualquier aeronave que se encuentre dentro del rango de alcance (max. unos 240 km) y tenga sintonizada la frecuencia de dicha estación (que puede variar de 108

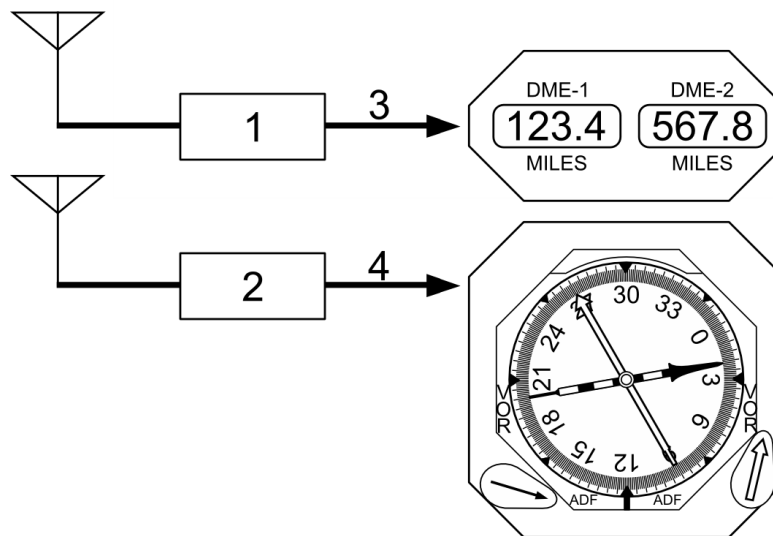
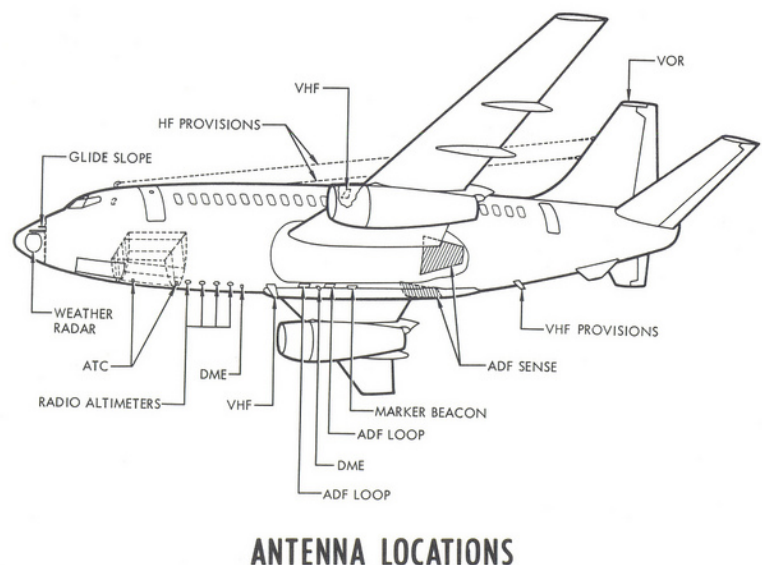


Figura 6: Equipo de DME junto con uno de ADF fuentes: [http://en.wikipedia.org/wiki/Distance\\_measuring\\_equipment](http://en.wikipedia.org/wiki/Distance_measuring_equipment)

a 118 MHz modulada en AM). En la Figura 7(b) puede observarse la ubicación más común de la antena para el equipo DME en la aeronave.



(a) Equipo de a bordo fuentes: <http://http://http://www.futureplatone.com/es/avionica/267-elite-ap-4000-dme-module.html>

(b) Localización de la antena en la aeronave fuentes: [http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13993518/equipo-medidor-de-distancia-dme\\_.html](http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13993518/equipo-medidor-de-distancia-dme_.html)

### 2.3. Mediciones erróneas

Hay que tener siempre en cuenta que la distancia medida por el DME es la distancia real en línea recta entre el avión y la estación, que variará dependiendo de la altitud a la que nos encontremos. Para hacernos una idea, aunque nos encontremos sobrevolando en DME, no indicará cero sino que nos dará una lectura en millas náuticas de la altitud a la que nos encontramos. Para obtener la



distancia real sobre el suelo, que es la que nos interesará a la hora de planificar el vuelo, habrá que aplicar el teorema de Pitágoras:  $Hipotenusa^2 = Altura^2 + Distancia^2$ .

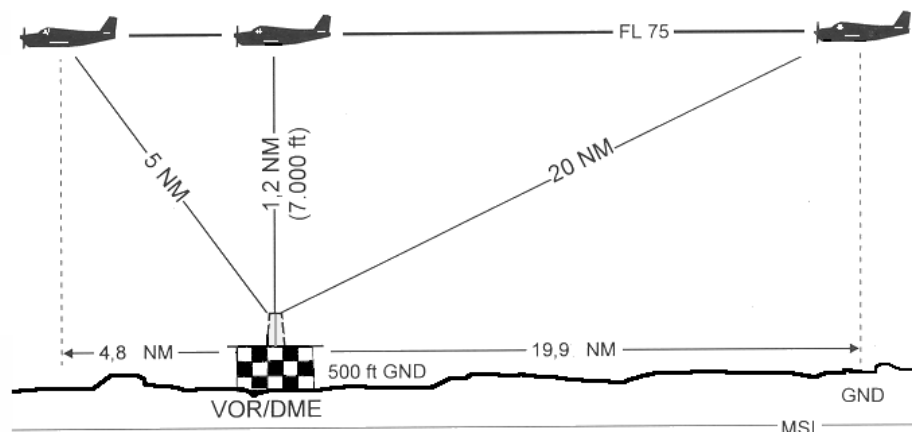


Figura 7: Mediciones del DME. fuente: <http://www.langleyflyingschool.com/Pages/CPGS%20Radio%20Navigation.html>

En la fórmula habrá que igualar las distancias a la misma medida (lo más sencillo es convertir la altura a millas náuticas), siendo la hipotenusa del triángulo la distancia medida por el DME, nuestra *Altura* respecto a la de la estación y *Distancia* la existente sobre el suelo para sobrevolar la estación. Si el equipo dispone de la posibilidad del cálculo de la ground speed (GS) o del tiempo estimado (ETE) para llegar a la estación habrá que saber que el equipo lo calcula según la velocidad a la que nos acercamos a la estación y que por lo tanto sólo será una medida fiable si nos dirigimos a ella directamente. Si hiciéramos un arco DME (girar alrededor de un DME a una distancia fija) el equipo entendería que no nos estamos acercando y por lo tanto llegaría a indicar 0 nudos de GS si hacemos la maniobra con total precisión independientemente de la velocidad real a la que nos desplazamos. Una forma muy sencilla de ver esto es volar cerca de un DME sin dirigirse a él y comparar la velocidad que nos indica con la GS que nos marca el GPS, si disponemos de uno.

### 3. Exactitud del sistema

La exactitud del sistema DME es normalmente de 100 a 300 m. Un valor típico de 0,1 NM (185 m) se da a veces como referencia.

Las fuentes de error son:

- Inexactitudes debidas al equipo
  - los 50  $\mu$  seg de retardo tras la recepción de una interrogación están sujetos a un error de  $\pm 1 \mu$  seg
  - Detección por parte del receptor
- Reflexiones (fenómeno de multicamino o multi-path)

Las tolerancias aceptables en las indicaciones del DME en la cabina son de  $\pm 0,5$  NM o 3 % de la distancia, tomándose el valor mayor.

## 4. Ventajas y desventajas del sistema

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Proporciona a la aeronave información de distancia a la estación terrestre.</li><li>■ Fácilmente asociable a CVOR, DVOR e ILS.</li><li>■ Más de 200 interrogaciones simultáneas.</li><li>■ Transpondedor íntegramente programable.</li><li>■ Compatible con antenas sectoriales y omnidireccionales.</li><li>■ Totalmente supervisable y controlable a distancia.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ El sistema puede saturarse cuando hay muchas aeronaves dentro del alcance del radiofaro.</li><li>■ Algunos DME asociados con el ILS pueden requerir disposiciones especiales para su protección contra la interferencia.</li></ul>