

## Planteamiento

Se encuadra dentro del bloque de movimiento ondulatorio de Física de 2º de Bachillerato. El objetivo es utilizar datos reales, y la idea surge en julio de 2015 al ver información sobre la sonda New Horizons y su sobrevuelo de Plutón, idea que reflejo en twitter, capturando en ese momento información sobre la potencia recibida tomada de <https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>  
<https://twitter.com/FiQuiPedia/status/621325339525009408>

En agosto de 2015 leo los artículos relacionados “Diez puñeteros metros”, de Iván Rivera, <https://twitter.com/brucknerite>, más que recomendables  
<http://naukas.com/2015/08/06/diez-puneteros-metros-i/>  
<http://naukas.com/2015/08/07/diez-puneteros-metros-ii/>  
<http://naukas.com/2015/08/08/diez-puneteros-metros-iii/>

El objetivo es ir un poco más allá de los problemas de física de 2º de Bachillerato que para potencia en ondas se limitan a sonido y a propagación isotrópica en esferas, usando datos reales de potencia, ganancia de antenas emisoras y receptoras pero con ondas de radio. Por sencillez no se pone absorción de la atmósfera y dependencia de la frecuencia, se sigue usando la misma expresión para la atenuación asociada a la superficie de una esfera.

Me parece interesante citar las instalaciones de Deep Space Network en general y en concreto las de Robledo de Chavela, Madrid, que pueden estar cerca de los alumnos y pueden no conocerlas, y ver que no solamente se recibe información sino que también se envía. También se puede citar Estrack de ESA y Cebberos en Madrid.

La actividad también sirve de pretexto para conocer la misión New Horizons, ver vídeos, imágenes asociadas de Plutón y Caronte y conocer el estado actual de la misión.

## Enunciado

Tras su lanzamiento en 2006, el 14 de julio de 2015 la sonda New Horizons realizó el sobrevuelo de Plutón, realizando varios GigaBytes de fotografías que fueron almacenadas y enviadas a la Tierra a lo largo de varios meses. En el momento del encuentro, la distancia aproximada era de 32 UA (1 UA =  $1,5 \cdot 10^{11}$  m), por lo que la luz tarda 4,5 h en llegar a la Tierra. Tras el encuentro empezó a emitir datos a la Tierra una potencia de 24 W, utilizando una antena que, bien orientada, aporta una ganancia de 42 dB. La señal se recibe en tres puntos de la Tierra, y uno de ellos es Robledo de Chavela, Madrid, donde se recibe con una antena de 70 m de diámetro que aporta una ganancia de 86 dB. Calcula:

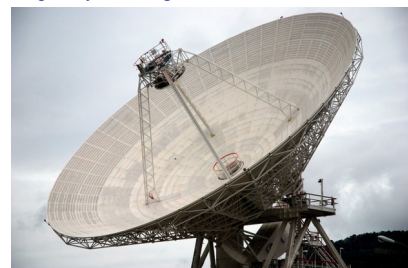
- Con qué intensidad se recibiría la señal si la emisión fuera isotrópica.
- En el caso del apartado a, cual tendría que ser el diámetro de la antena receptora para que en su toda su superficie la potencia recibida sea la de la imagen de julio 2015:  $3,22 \cdot 10^{-22}$  kW.
- Con qué potencia tendría que haber emitido New Horizons en caso de emisión isotrópica para que en la superficie de la antena receptora de 70 m se recibiera la potencia de la imagen de julio de 2015.

d) Si desde la Tierra se puede emitir con un máximo de 400 kW y la sonda New Horizons puede recibir como valor más bajo  $10^{-12}$  W, calcula a qué distancia máxima, expresada en UA, podrá seguir recibiendo datos desde la Tierra si las antenas están bien orientadas.

Notas: La ganancia de las antenas es la misma en emisión y recepción  
De manera simple, en dB: “ $P_{\text{recibida}} = P_{\text{emitida}} + \text{ganancias} - \text{atenuaciones}$ ”

DOWN SIGNAL	
SOURCE	NEW HORIZONS
TYPE	DATA
DATA RATE	2.11 kb/sec
FREQUENCY	8.44 GHz
POWER RECEIVED	$3,22 \times 10^{-22}$ kW

<https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html> Julio2015



Antena 70 m Madrid DSN ([naukas.com](http://naukas.com))



### Solución

$$a) \quad I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{24}{4\pi(32 \cdot 1,5 \cdot 10^{11})^2} = 8,3 \cdot 10^{-26} \text{ W/m}^2$$

Si la antena recogiese toda la intensidad de la superficie, comprobamos como para diámetro 70 m, radio 35 m, superficie  $S = \pi r^2 \approx 3850 \text{ m}^2$  se tiene que  $P = I \cdot S = 8,3 \cdot 10^{-26} \cdot 3850 \approx 3,2 \cdot 10^{-22} \text{ W}$ . El valor se parece mucho numéricamente, pero es menor (son W y no kW); no se está considerando la ganancia de antena emisora, aunque sí una “ganancia” de la receptora al considerar un factor multiplicador por tener en cuenta su superficie.

b) Si la antena recogiese toda la intensidad de una superficie, ésta superficie tendría que ser

$$S = \frac{P}{I} = \frac{3,22 \cdot 10^{-22} \cdot 10^3}{8,3 \cdot 10^{-26}} \approx 4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

Si la antena fuese una circunferencia, su radio tendría que ser  $S = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^6}{\pi}} \approx 1130 \text{ m}$

Notas sobre c y d:

Usamos la expresión indicada en dB: “ $P_{\text{recibida}} = P_{\text{emitida}} + \text{ganancias} - \text{atenuaciones}$ ”, que recordando que el logaritmo de una multiplicación se convierte en suma de logaritmos y el logaritmo de una división se convierte en resta de logaritmos, se puede entender como que la potencia recibida será la asociada a potencia emitida, multiplicada las ganancias de antenas emisora y receptora, y dividida por la atenuación asociada a la propagación, atenuación que podemos asociar al término

$$\frac{1}{4\pi r^2} \Rightarrow \log\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right) = -\log(4\pi r^2)$$

Las potencias recibida y emitidas las expresamos en las mismas unidades: se podría ver que estamos usando implícitamente  $\text{dBW} = 10 \log(P/1 \text{ W})$ , aunque también podríamos haber usado  $\text{dBm} = 10 \log(P/0,001 \text{ W})$

Aplicando esta idea en la expresión habitual en 2º de Bachillerato  $I = \frac{P}{4\pi r^2}$  y multiplicándola

por la superficie receptora, se  $P_{\text{recibida}} = \frac{P_{\text{emitida}}}{4\pi r^2} \cdot S_{\text{receptora}}$  se llega a

$10 \log(P_{\text{recibida}}) = 10 \log(P_{\text{emitida}}) + 10 \log(S_{\text{receptora}}) - 10 \log(4\pi r^2)$  que se puede asociar a  $\beta_{\text{recepción}} = \beta_{\text{emisión}} + \beta_{\text{antena receptora}} - \beta_{\text{atenuación}}$  que enlaza con apartado a). La ganancia real de la antena receptora es más que simplemente tener mucha superficie.

$$c) \quad \beta_{\text{recepción}} = \beta_{\text{emisión}} + \beta_{\text{antena emisora}} + \beta_{\text{antena receptora}} - \beta_{\text{atenuación}}$$

Utilizamos como “ganancia” de la antena receptora el factor multiplicador asociado a su superficie, calculado en el apartado a).

$$10 \log(3,22 \cdot 10^{-22} \cdot 10^3) = \beta_{\text{emisión}} + 10 \log(3850) - 10 \log(4\pi(32 \cdot 1,5 \cdot 10^{11})^2)$$

$$\beta_{\text{emisión}} = -185 - 36 + 265 = 44 \text{ dB} \Rightarrow P = 10^{\frac{44}{10}} = 25 \text{ kW}$$

Es una potencia demasiado elevada para que la pueda suministrar la sonda.

$$d) \quad \beta_{\text{recepción}} = \beta_{\text{emisión}} + \beta_{\text{antena emisora}} + \beta_{\text{antena receptora}} - \beta_{\text{atenuación}}$$

$$10 \log(10^{-12}) = 10 \log(400 \cdot 10^3) + 86 + 42 - \beta_{\text{atenuación}}$$

$$\beta_{\text{atenuación}} = 56 + 86 + 42 + 120 = 304 \text{ dB}$$

$$\beta_{\text{atenuación}} = 10 \log(4\pi r^2) \Rightarrow r = \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} = \sqrt{\frac{10^{\frac{\beta}{10}}}{4\pi}} = \sqrt{\frac{10^{30,4}}{4\pi}} = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ m} \approx 3000 \text{ UA}$$