a) Para el tubo abierto de longitud 2.55 m (tubo 1) tendremos, que para que se produzcan ondas estacionarias se debe verificar que:

$$l_1 = N_1 \frac{\lambda_1}{2}$$

siendo N_1 un número entero (N_1=1, 2, 3, ...). Si se trata del segundo armónico tendremos que N_1=3:

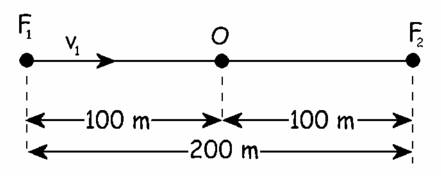
$$l_1 = N_1 \frac{\lambda_1}{2} = 3\frac{\lambda_1}{2} = 3\frac{v}{2\nu_1} \Rightarrow \nu_1 = \frac{3v}{2l_1} = \frac{3 \cdot 340}{2 \cdot 2.55} = 200 \text{ Hz}$$

$\underline{\nu_1=200 \text{ Hz}}$

Y como la frecuencia del otro tubo es 10 Hz más tendremos:

$$\nu_2=\nu_1+10=200+10=210 \text{ Hz}$$

$\underline{\nu_2=210 \text{ Hz}}$



b) Si el primer foco se mueve hacia el observador tendremos lo que aparece en la figura. La frecuencia que percibe el observador proveniente del foco 1 será:

$$\nu'_1 = \nu_1 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} = \nu_1 \frac{v - v_O}{v - v_F} = \nu_1 \frac{v}{v - v_1}$$

siendo v la velocidad de las ondas sonoras y v_1 la velocidad del foco 1. Del mismo modo, la frecuencia que percibe el observador proveniente del foco 2 será:

$$\nu'_2 = \nu_2 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} = \nu_2 \frac{v - v_O}{v - v_F} = \nu_2 \frac{v}{v - v_2}$$

Como ambas frecuencias son iguales:

$$\nu'_1 = \nu'_2 \Rightarrow \nu_1 \frac{v}{v - v_1} = \nu_2 \frac{v}{v - v_2} \Rightarrow \frac{\nu_1}{v - v_1} = \frac{\nu_2}{v - v_2} \Rightarrow v_2 = v - \frac{\nu_2}{\nu_1}(v - v_1) =$$
$$= 340 - \frac{210}{200}(340 - 30) = 14.5 \text{ m/s}$$

$\underline{v_2=14.5 \text{ m/s}}$

Como además el signo es positivo significa que la fuente 2 se mueve en sentido positivo, desde la fuente hasta el observador, es decir, hacia la izquierda.

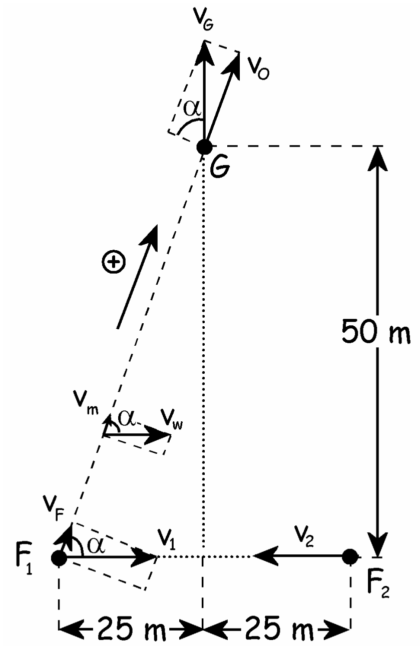
La frecuencia percibida (ν_1 o ν_2) la podemos determinar de cualquiera de las ecuaciones:

$$\nu'_1 = \nu_1 \frac{v}{v - v_1} = 200\frac{340}{340 - 30} = 219.35 \text{ Hz}$$

$\underline{\nu'=\nu'_1=\nu'_2=219.35 \text{ Hz}}$

c) Si los focos se mueven en sentidos opuestos tenemos dos posibilidades, que ambos se muevan acercándose al observador, o que ambos se muevan alejándose del observador. En cualquier caso, lo primero que tenemos que determinar es la posición de los dos focos cuando el globo se encuentra a 50 m de altura. Todos los movimientos son rectilíneos y uniformes. Para el globo:

$$v_G = \frac{y}{t} \Rightarrow t = \frac{y}{v_G} = \frac{50}{20} = 2.5 \text{ s}$$



En ese tiempo, el espacio recorrido por las fuentes, que se mueven a la misma velocidad, es:

$$v_1 = \frac{x}{t} \Rightarrow x = v_1 t = 30 \cdot 2.5 = 75 \text{ m}$$

Comencemos ahora por suponer que las fuentes se acercan al observador. En este caso, como inicialmente estaban a 100 m de él y recorren cada una 75 m, en el momento que nos interesa se encontrarán a 25 m del observador, con lo que tenemos lo que aparece en la figura. El ángulo α vale:

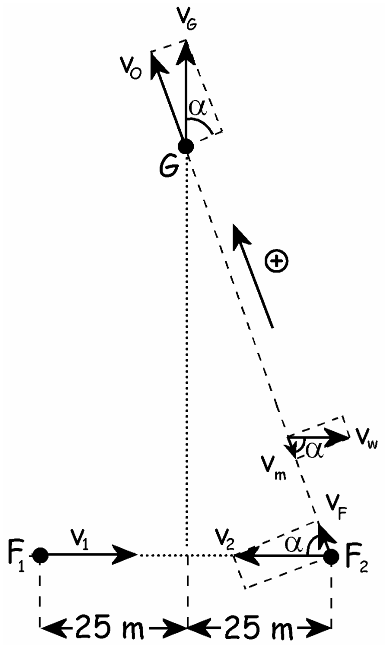
$$tg\alpha = \frac{50}{25} = 2 \Rightarrow \alpha = 63.43°$$

La frecuencia que percibe el observador procedente de 1 será:

$$\nu'_1 = \nu_1 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} = \nu_1 \frac{v - v_O + v_m}{v - v_F + v_m} =$$

$$= \nu_1 \frac{v - v_G sen\alpha + v_w \cos\alpha}{v - v_1 \cos\alpha + v_w \cos\alpha} =$$

$$= 200 \frac{340 - 20 sen 63.43° + 5 \cos 63.43°}{340 - 30 \cos 63.43° + 5 \cos 63.43°} = 197.28 \text{ Hz}$$



Ahora tenemos que determinar la frecuencia que percibe el observador procedente del foco 2. Tendremos que tener en cuenta las velocidades y ángulos que aparecen en la figura. Por tanto:

$$\nu'_2 = \nu_2 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} = \nu_2 \frac{v - v_O + v_m}{v - v_F + v_m} =$$

$$= \nu_2 \frac{v - v_G sen\alpha - v_w \cos\alpha}{v - v_1 \cos\alpha - v_w \cos\alpha} =$$

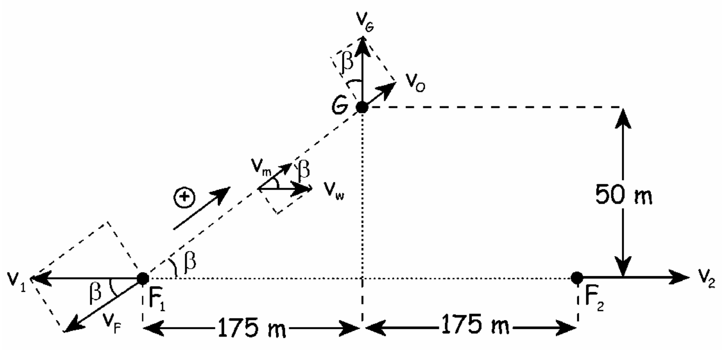
$$= 210 \frac{340 - 20 sen 63.43° - 5 \cos 63.43°}{340 - 30 \cos 63.43° - 5 \cos 63.43°} = 207.10 \text{ Hz}$$

La frecuencia de las pulsaciones que percibe el observador será entonces:

$$\nu_{puls} = \nu'_2 - \nu'_1 = 207.10 - 197.28 = 9.82 \text{ Hz}$$

$\underline{\nu_{puls} = 9.82 \text{ Hz}}$

Ahora tendremos que suponer que las fuentes se mueven en sentido contrario pero alejándose del observador. En este caso, puesto que inicialmente se encuentran a 100 m del observador y recorren cada una 75 m, en el instante considerado se hallarán a 175 m del observador cada una, y tendremos lo que aparece en la figura. Así pues, el nuevo ángulo β será:

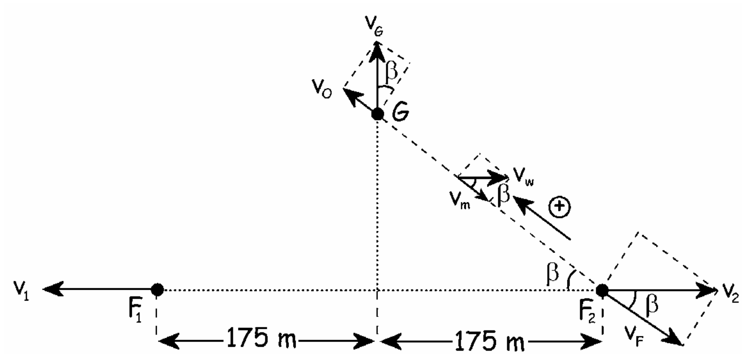


$$tg\beta = \frac{50}{175} = 0.286 \Rightarrow \beta = 15.95°$$

Igual que antes, determinamos la frecuencia que percibe el observador procedente del foco 1:

$$\nu'_1 = \nu_1 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} = \nu_1 \frac{v - v_O + v_m}{v - v_F + v_m} = \nu_1 \frac{v - v_G sen\beta + v_w \cos\beta}{v + v_1 \cos\beta + v_w \cos\beta} =$$

$$= 200 \frac{340 - 20sen15.95° + 5\cos 15.95°}{340 + 30\cos 15.95 + 5\cos 15.95°} = 181.62 \text{ Hz}$$



Y ahora, del mismo modo, determinamos la frecuencia que percibe el observador procedente del foco F_2:

$$\nu'_2 = \nu_2 \frac{v - v_{O/m}}{v - v_{F/m}} =$$

$$= \nu_2 \frac{v - v_O + v_m}{v - v_F + v_m} =$$

$$= \nu_2 \frac{v - v_G sen\beta - v_w \cos\beta}{v + v_1 \cos\beta - v_w \cos\beta} =$$

$$= 210 \frac{340 - 20sen15.95° - 5\cos 15.95°}{340 + 30\cos 15.95° - 5\cos 15.95°} = 190.19 \text{ Hz}$$

La frecuencia de las pulsaciones es entonces:

$$\nu_{puls} = \nu'_2 - \nu'_1 = 190.19 - 181.62 = 8.57 \text{ Hz}$$

$\underline{\nu_{puls} = 8.57 \text{ Hz}}$