# PROBLEMAS DE

# LAS OLIMPIADAS

# INTERNACIONALES

# DE FÍSICA

**José Luis Hernández Pérez**

**Agustín Lozano Pradillo**

Madrid 2008

XXXIX OLIMPIADA INTERNACIONAL DE FÍSICA. VIETNAN. 2008

**PROBLEMA 1**

***MORTERO DE ARROZ IMPULSADO POR AGUA***

***El esquema del mortero puede verse en la figura 3.***

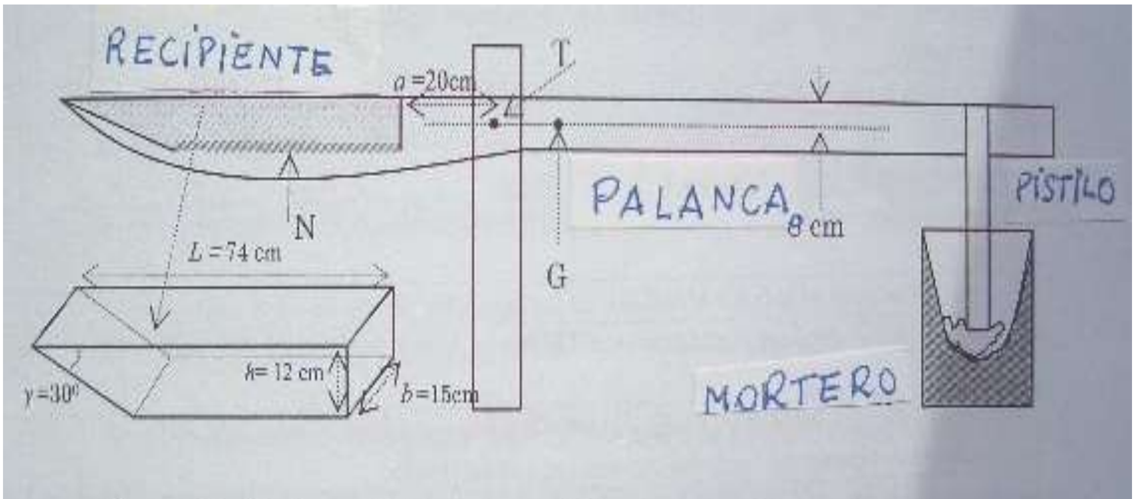


Figure 3 Design and dimensions of the rice-pounding mortar

**1.-Diseño y operación**

***El mortero básicamente es de madera y dentro de él se sitúa el arroz***

***La palanca, es un tronco de árbol. Un extremo del mismo es más ancho que el otro. En el extremo menos ancho existe un pistilo sujeto a la palanca y perpendicular a ella, su longitud está diseñada para que cuando la palanca esté en posición horizontal el pistilo esté en contacto con el arroz del recipiente (fig.3).***
***En el extremo más ancho de la palanca se excava un receptáculo que se denomina recipiente. La forma de este recipiente es crucial para las operaciones del mortero de arroz.***

**2.-Modos de operación**

***El mortero opera de dos maneras.***

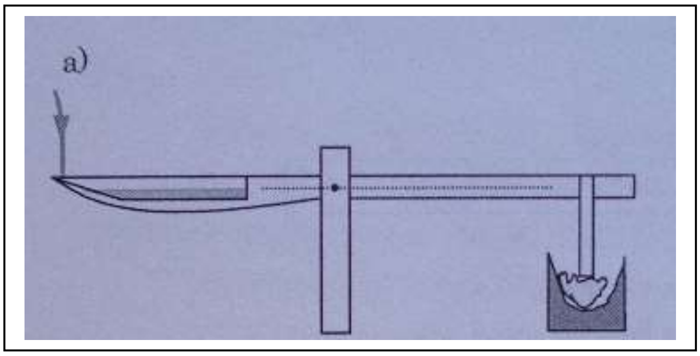
***a) <u>Modo de trabajo</u> De esta manera el mortero efectúa ciclos que están representados en la figura 2(a,b,c,d,e,f) . La molienda del arroz proviene del trabajo que se transfiere al pistilo durante la etapa f) de la figura 2. Si por alguna razón el pistilo nunca alcanza el arroz decimos que el mortero no está trabajando***

***La molienda del arroz proviene del trabajo que se transfiere al pistilo durante la etapa f) de la figura 2. Si por alguna razón el pistilo nunca alcanza el arroz decimos que el mortero no está trabajando***

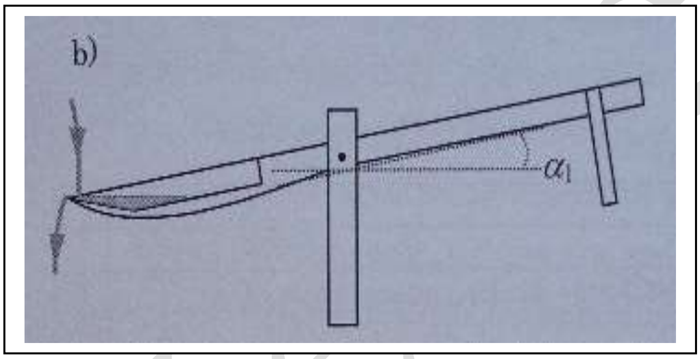
***b<u>) Modo de reposo con la palanca elevada</u>.***

***Durante la etapa c) del ciclo de operación de la figura 2, a medida que el ángulo $\alpha$ aumenta, la cantidad de agua en el recipiente disminuye. En un determinado momento la cantidad de agua en el recipiente equilibra el peso de la palanca. Se designa ese ángulo como $\beta$. Si la palanca se mantiene con ese ángulo $\beta$ y su velocidad angular es cero , la palanca permanece en esa posición indefinidamente. Este es el modo de reposo con la palanca levantada. La estabilidad de esta posición depende del caudal de agua $\Phi$ que llega al recipiente. Si $\Phi$ excede algún valor $\Phi_2$ el modo de reposo es estable y el mortero está en el modo de no trabajo. En otras palabras $\Phi_2$ es el caudal mínimo para que el mortero no trabaje.***

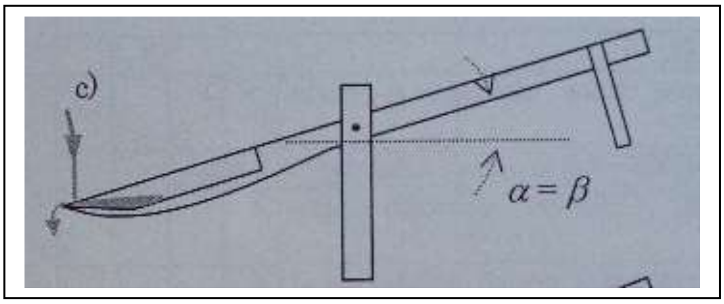
***CICLO DE OPERACIONES DE UN MORTERO DE ARROZ IMPULSADO POR AGUA ( fig 2 , a,b,c,d,e,f).***



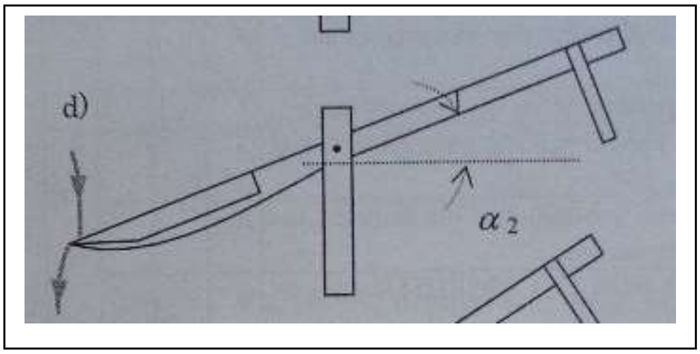

***a) Al principio no hay agua en el recipiente y el pistilo reposa en el interior del mortero. El agua comienza a fluir al recipiente de modo lento y constante, sin embargo y durante algún tiempo la palanca permanece en posición horizontal***



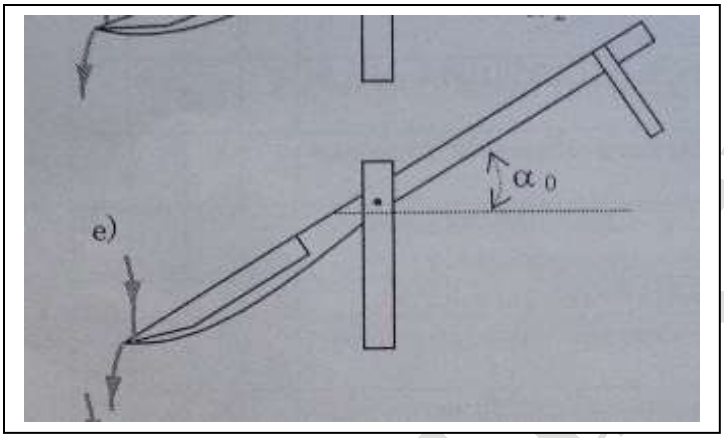

***b) En algún momento la cantidad de agua en el recipiente es suficiente para elevar la palanca. Debido a esta elevación el agua se desplaza hacia un extremo del recipiente y esto determina que la elevación de la palanca se produzca con mayor rapidez.***
***El agua comienza a fluir fuera del recipiente cuando*** $\alpha=\alpha_1$




***c) A medida que el ángulo crece, el agua fluye hacia fuera del recipiente. Para un ángulo de elevación*** $\alpha=\beta$ ***el momento de las fuerzas es cero.***




*d) El ángulo $\alpha$ continua aumentando y el agua continua fluyendo fuera del recipiente hasta que llega un momento que en el recipiente no hay agua.*




*e) Debido a la inercia el ángulo $\alpha$ aumenta, pero debido a la forma del recipiente el agua que llega a él sale de inmediato. Este movimiento continúa hasta que el ángulo $\alpha$ es igual al valor máximo $\alpha_o$*

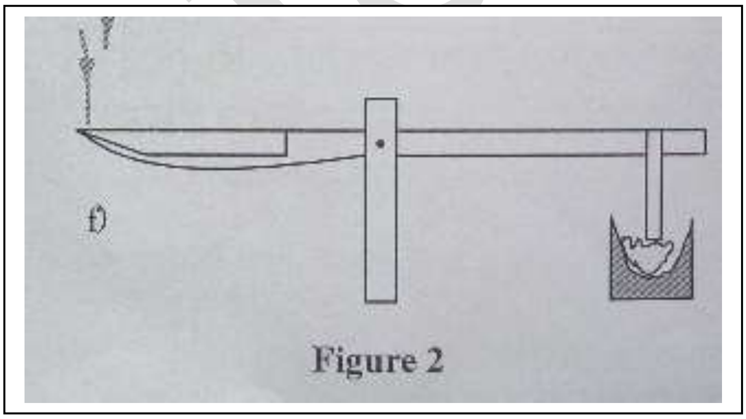



Figure 2

*f) Cuando no hay agua en el recipiente la palanca vuelve a su posición horizontal y de este modo el pistilo golpea al arroz que está en el mortero.*
*El ciclo comienza de nuevo.*

***Un mortero de agua tiene los siguientes dimensiones:***
***La masa de la palanca es 30 kg, incluido el pistilo y sin agua en el recipiente, M= 30 kg***
***El centro de masas de la palanca es G. La palanca gira alrededor del eje T.***
***El momento de inercia de la palanca alrededor del eje T es I= 12 kg.m$^2$.***
***Cuando hay agua en el recipiente la masa de ésta se designa con m y el centro de masas del agua se designa con N.***
***El ángulo que forma el la palanca con la horizontal se designa con $\alpha$.***
***Las medidas están reflejadas en la figura 3.***
***Desprecie la fricción en el eje de rotación y la fuerza debido al agua que cae en el recipiente. La superficie del agua siempre es horizontal.***

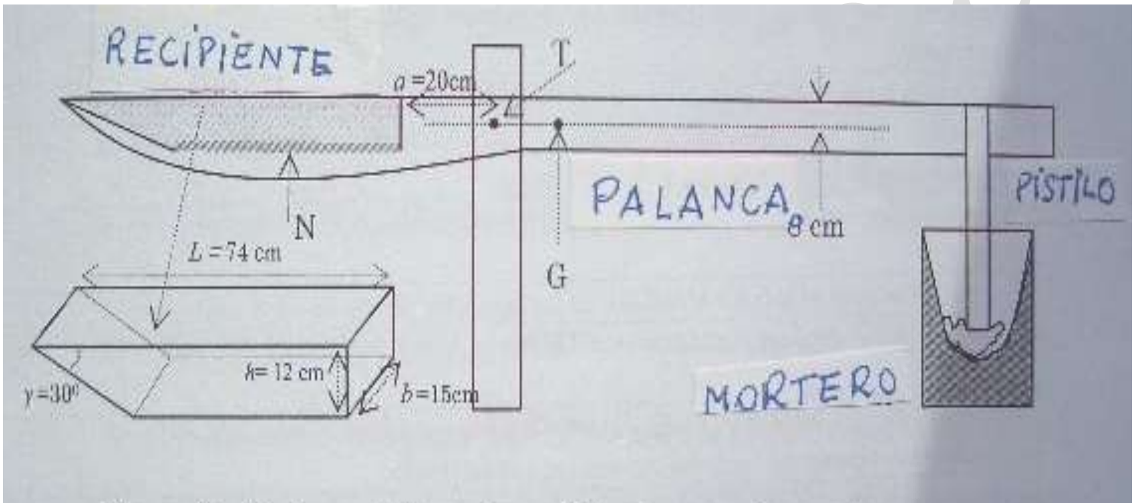



Figure 3 Design and dimensions of the rice-pounding mortar

***1.- <u>La estructura del mortero.</u>***

***Al principio el recipiente está vacío y la palanca horizontal. A continuación el agua fluye en el recipiente hasta que la palanca comienza a girar. La cantidad de agua que hay en el recipiente es m= 1,0 kg.***

***1.1.-Calcular la distancia desde el centro de masas G al eje de rotación T. Se sabe que la línea GT es horizontal cuando el recipiente está vacío.***

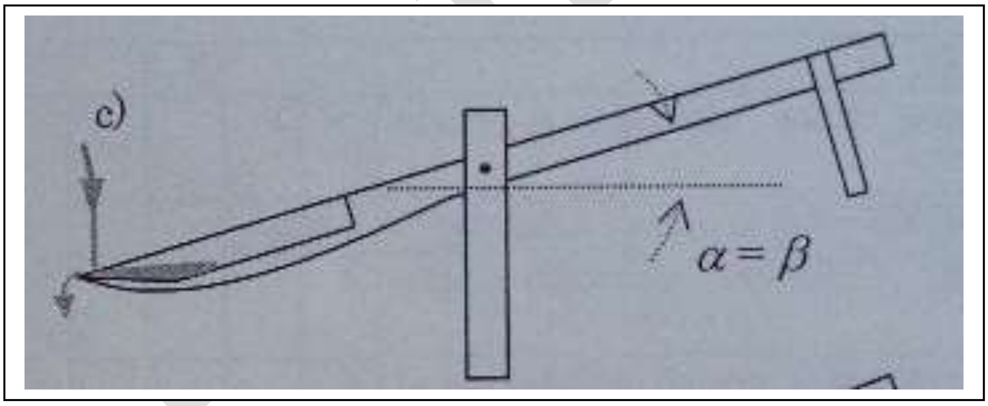
| |
|---|
| ***a) Al principio no hay agua en el recipiente y el pistilo reposa en el interior del mortero. El agua comienza a fluir al recipiente de modo lento y constante, sin embargo y durante algún tiempo la palanca permanece en posición horizontal*** |

***1.2.-El agua comienza a derramarse del recipiente cuando el ángulo entre la palanca y el eje horizontal alcanza el valor $\alpha_1$. El recipiente se vacía completamente cuando el ángulo es $\alpha_2$. Determinar $\alpha_1$ y $\alpha_2$.***

***b) En algún momento la cantidad de agua en el recipiente es suficiente para elevar la palanca. Debido a esta elevación el agua se desplaza hacia un extremo del recipiente y esto determina que la elevación de la palanca se produzca con mayor rapidez.***
***El agua comienza a fluir fuera del recipiente cuando $\alpha=\alpha_1$***

***1.3.-El momento total $\mu(\alpha)$ relativo al eje que pasa por T tiene su origen en el peso de la palanca y en el del agua contenida en el recipiente. Cuando $\alpha=\beta$ resulta que el momento total $\mu(\alpha)=0$. Calcular $\beta$ y la masa m de agua que en ese momento contiene el recipiente.***

***c) A medida que el ángulo crece, el agua fluye hacia fuera del recipiente. Para un ángulo de elevación $\alpha=\beta$ el momento de las fuerzas es cero.***




***2.-<u>Parámetros del modo de trabajo</u>***

***El agua fluye dentro del recipiente con una velocidad de flujo $\Phi$ que es constante y pequeña. La cantidad de agua que llega al recipiente cuando la palanca se encuentra en movimiento es despreciable. En esta parte del problema se desprecia el cambio en el momento de inercia durante el ciclo de trabajo.***

***2.1.- Haga un esquema del momento $\mu(\alpha)$ en función del ángulo $\alpha$ durante un ciclo. Calcule los valores numéricos de $\mu(\alpha)$ para los ángulos $\alpha_1$, $\alpha_2$ y $\alpha=0$.***

***2.2.- A partir de la gráfica del apartado 2.1, dar la interpretación geométrica de la energía total producida por $\mu(\alpha)$ y del trabajo de molienda $W_m$ que se transfiere desde el pistilo al arroz.***

***2.3.- A partir de la gráfica de la figura 7 calcular $\alpha_o$ Y $W_m$ ( se supone que son despreciables las energías cinéticas del agua de entrada y de salida del recipiente). La gráfica se puede reemplazar por líneas rectas.***

***3.- El modo reposo***

***3.1.- Suponiendo que en el recipiente el agua siempre se desborda***

***3.1.1.-Dibuje un esquema gráfico del momento $\mu$ en función del ángulo $\alpha$ en las proximidades de $\alpha=\beta$ ¿Qué tipo de equilibrio, para la posición $\alpha=\beta$, tiene la palanca?***

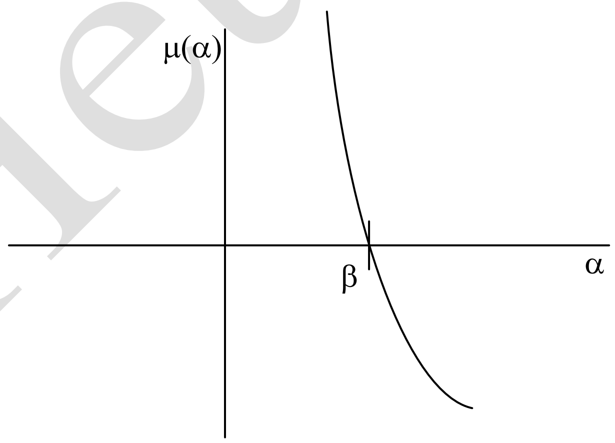



Fig.8

***3.1.2.- Encontrar la expresión que relaciona el momento $\mu(\alpha)$ como función de $\Delta\alpha$ cuando $\alpha=\beta+\Delta\alpha$ y $\Delta\alpha$ es pequeño.***

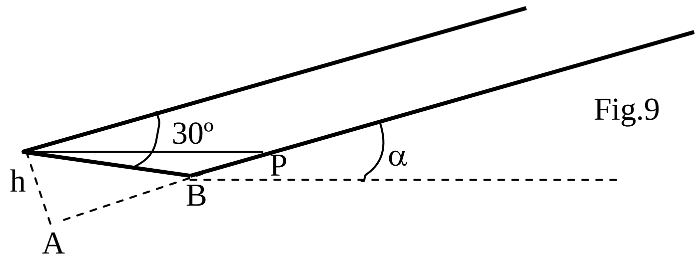



Fig.9

***3.1.3.- Escribir la ecuación de movimiento de la palanca, la cual se mueve con velocidad inicial cero a partir de la posición $\alpha=\beta+\Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ pequeño). Mostrar que el movimiento es, con una aceptable exactitud, una oscilación armónica .Calcular el periodo $\tau$.***

***3.2.-Para un valor dado de $\Phi$, el recipiente se desborda todo el tiempo solamente si la palanca se mueve de forma lenta. Existe un límite superior para la amplitud del movimiento armónico el cual depende de $\Phi$. Determinar el valor mínimo de $\Phi$ ( en kg/s) para que la palanca realice un movimiento armónico de amplitud 1º.***

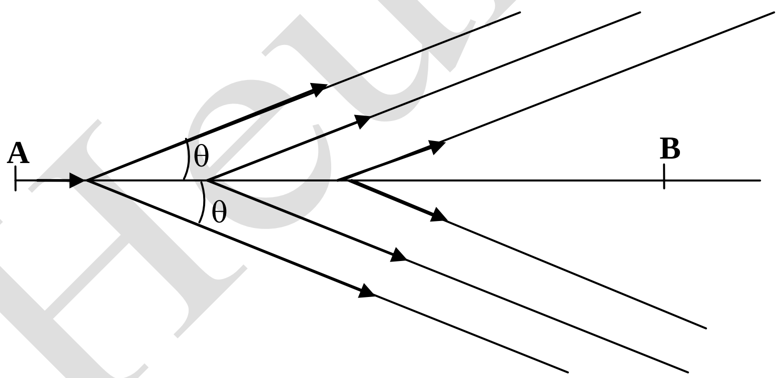
***3.3.-Suponer que $\Phi$ es suficiente para que durante el movimiento libre de la palanca cuando el ángulo decrece desde $\alpha_2$ a $\alpha_1$ el recipiente siempre desborde. No obstante si el flujo $\Phi$ es muy grande el mortero no puede operar. Suponiendo que el movimiento de la palanca es la de un oscilador armónico calcular el flujo mínimo para que el mortero no trabaje.***

**PROBLEMA 2**

***RADIACIÓN CHERENKOV Y CONTADOR DE IMAGEN ANULAR***

***La luz se propaga en el vacío a la velocidad c y ninguna partícula puede alcanzar esta velocidad. No obstante, sí es posible que una partícula se desplace en un medio transparente con una velocidad v mayor que la de la luz en ese medio, cuyo valor es c/n ( n es el índice de refracción de ese medio).***
***El experimento (Cherenkov en 1934) y la teoría (Tamm y Frank, 1937) mostraron que una partícula moviéndose a la velocidad v en un medio transparente con índice de refracción n, siendo*** $v > \frac{c}{n}$***, radia luz, llamada radiación de Cherenkov, en las direcciones que forman con la trayectoria de la partícula un ángulo*** $\theta = \arccos\frac{1}{\beta n}$***, siendo*** $\beta = \frac{v}{c}$.

***1.- Considerar una partícula moviéndose con una velocidad constante*** $v > \frac{c}{n}$ ***en línea recta. La partícula pasa por A en el tiempo t=0 y por B en el tiempo*** $t_1$.




***Dado que el problema posee simetría respecto del eje AB es suficiente considerar los rayos de luz contenidos en el plano AB.***
***Para cualquier punto C situado entre A y B, la partícula emite una onda de luz esférica, la cual se propaga a la velocidad*** $\frac{c}{n}$***. Definimos el frente de onda para un determinado tiempo t como la envolvente de todas las esferas***

***1.1.- Determinar el frente de onda al tiempo $t_1$ y dibujar su intersección con el plano que contiene la trayectoria de la partícula.***

***2.- Expresar el ángulo $\varphi$, entre esta intersección y la trayectoria de la partícula en función de n y $\beta$.***

***2.- Considerar un haz de partículas que se mueve con velocidad $v > \frac{c}{n}$ y con un ángulo $\theta$ pequeño a lo largo de una recta IS. El haz cruza un espejo esférico, con distancia focal f y centro de curvatura C, por el punto S. SC forma con SI un ángulo pequeño $\alpha$. El haz de partículas forma una imagen en forma de anillo en el plano focal del espejo.***
***Explicar con ayuda de un esquema el porqué de este hecho y dar la posición del centro O y el radio del anillo r.***
***Este fenómeno se utiliza en contadores Cherenkov de imagen anular RICH (ring imaging Cherenkov counters) y el medio por el cual viaja la partícula se denomina radiador.***

***3.- Un haz de partícula con momento p = 10,0 GeV/c , consiste en tres tipos de partículas , protones , kaones y piones, cuyas masas en reposo son respectivamente $M_p$=0,94 GeV/$c^2$, $M_k$=0,50 GeV/$c^2$, $M_\pi$=0,14 GeV/$c^2$.***
***El haz de partículas atraviesa aire a una presión P, siendo su índice de refracción: $n=1+\alpha P$ , $\alpha = 2,7.10^{-4}$ atm$^{-1}$.***

***3.1.- Calcular para cada una de las partículas la presión mínima $P_{min}$ del aire para que se produzca la radiación Cherenkov.***

***3.2.- Calcular la presión del aire $P_{1/2}$ para la cual el radio del anillo de imagen que producen los kaones sea la mitad del que producen los piones. Calcular los valores de $\theta_k$ y $\theta_\pi$ en este caso.***
***¿Es posible que para esa presión se observe un anillo de imagen de los protones?***

***4.- Suponer que el haz de partículas no es exactamente monocromático sino que sus momentos están centrados en 10 GeV/c. La mitad de la anchura a la mitad de la altura de dicha distribución es $\Delta p$. Esto determina que el anillo de imagen esté expandido y que la correspondiente distribución en $\theta$ tenga mitad de la anchura a la mitad de la altura igual a $\Delta\theta$. La presión del medio (radiador) es $P_{1/2}$ calculada en el apartado 3.2.***

***4.1.-Calcular $\frac{\Delta\theta_k}{\Delta P}$ y $\frac{\Delta\theta_\pi}{\Delta P}$ para los kaones y piones.***

***4.2.-Cuando la separación entre las dos imágenes de los anillos cumple la relación $\theta_\pi - \theta_k > 10\,\Delta\theta$, entonces es posible distinguir las dos imágenes. Calcular el máximo valor de $\Delta p$ que permite distinguir ambas imágenes.***

***5.-Cherenkov descubrió el efecto que lleva su nombre cuando observó que una botella de agua colocada cerca de una fuente radiactiva emitía luz..***

***5.1.- Encontrar la energía cinética mínima $T_{min}$ de una partícula, cuya masa en reposo es M, que desplazándose por el agua produzca radiación Cherenkov. El índice de refracción del agua es n=1,33.***

***5.2.- La fuente radiactiva que estaba próxima a la botella emitía partículas $\alpha$ cuya masa en reposo es $M_\alpha$=3,8 GeV/c$^2$ y electrones de masa en reposo $M_e$=0,51 MeV/c$^2$.Calcular las energías cinéticas mínimas para ambas partículas.***
***Sabiendo que la energía de las partículas emitidas por las fuentes radiactiva no sobrepasa unos pocos de MeV, indicar cuál de las partículas es responsable de la radiación Cherenkov.***

*6.- En los anteriores apartados del problema, la dependencia de la radiación Cherenkov respecto de la longitud de onda no se ha tenido en cuenta. Si tenemos este hecho presente la radiación Cherenkov producida por una partícula tiene un espectro continuo en el que se incluye el intervalo visible (longitudes de onda desde 0,4 $\mu$m a 0,8 $\mu$m). Se sabe que el índice de refracción del radiador decrece linealmente un 2% de (n-1) cuando $\lambda$ aumenta por encima de este rango.*

*6.1.- Considera un haz de piones con momento 10,0 GeV/c moviéndose por el aire que se encuentra a la presión de 6 atm. Encontrar la diferencia angular $\Delta\theta$ asociada con los dos extremos de la luz visible ($\lambda$=0,4 $\mu$m y $\lambda$ =0,8 $\mu$m)*

*6.2.- Sobre esta base, estudiar cualitativamente el efecto de la dispersión de la imagen del anillo de los piones con un momento distribuido sobre un intervalo centrado en p=10,0 GeV/$c^2$ cuya mitad de anchura a la mitad de altura es $\Delta$p=0,3 GeV/c.*
*Calcular el ensanchamiento debido a la variación del índice de refracción y el debido a la variación del momento del haz.*

## PROBLEMA 3

### *CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE CON LA ALTURA, ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA Y CONTAMINACIÓN DEL AIRE*

***El movimiento vertical del aire gobierna muchos procesos atmosféricos, tales como la formación de nubes y la precipitación y la dispersión de contaminantes del aire. Si la atmósfera es estable, el movimiento vertical está restringido y los contaminantes del aire tienden a acumularse en el lugar de la emisión en lugar de dispersarse y diluirse. Sin embargo en una atmósfera inestable el movimiento vertical del aire fomenta la dispersión de los contaminantes del aire. Por lo tanto, la concentración de contaminantes en el aire no depende solamente de la cantidad emitida por las fuentes de emisión sino también de la estabilidad de la atmósfera.***

***Determinaremos la estabilidad atmosférica utilizando el concepto de parcela de aire de meteorología y compararemos la temperatura de la parcela de aire elevándose y hundiéndose adiabáticamente en la atmósfera del aire que la rodea. Veremos que en muchos casos una parcela de aire conteniendo contaminantes y elevándose desde el suelo llegará al reposo al alcanzar una cierta altura llamada altura de mezcla. Cuanto mayor es la altura de mezcla menor es la concentración de contaminantes Evaluaremos la altura de mezcla y la concentración de monóxido de carbono emitido por las motocicletas en el área metropolitana de Hanoi en horas punta de la mañana, durante las cuales la mezcla vertical se debe a la inversión de la temperatura (la temperatura del aire aumenta con la altura) a alturas superiores a 119 m.***

***Se considera al aire como un gas ideal que obedece a la ecuación $PV^{\gamma} = Constante$, donde $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. Si es necesario pueden utilizarse los siguientes datos:***
***$R = 8{,}31$ J/(mol K) ; presión atmosférica en el suelo $p_o = 101{,}3$ kPa; $g = 9{,}81\ m/s^2$ ; $C_p = 7/2\ R$ , $C_v = 5/2\ R$***

***Ayudas matemáticas***

***a)*** $\int \frac{dx}{A+Bx} = \frac{1}{B}\int \frac{d(A+Bx)}{A+Bx} = \frac{1}{B} ln(A+Bx)$

*b) La solución de la ecuación diferencial* $\frac{dx}{dt}+Ax=B$, *siendo A y B constantes es:* $x(t)=x_1(t)+\frac{B}{A}$ *en la que* $x_1(t)$ *es la solución de la ecuación diferencial* $\frac{dx}{dt}+Ax=0$

*c)* $\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{x}\right)^x=e$

**1.- Variación de la presión con la altura**

***1.1.- Suponer que la temperatura de la atmósfera es uniforme e igual a $T_o$. Escribir la expresión que relaciona la presión p con la altura z.***

***1.2.- Suponer que la temperatura de la atmósfera varía con la altura de acuerdo con la ecuación $T(z)=T(0)-\Lambda z$, donde $\Lambda$ es una constante llamada <u>tasa de retraso de la temperatura</u> de la atmósfera (el gradiente vertical de la temperatura es – $\Lambda$).***

***1.2.1.- Encontrar la ecuación que relacione la presión atmosférica con la altura z.***

***1.2.2.- Un proceso denominado convección libre ocurre cuando la densidad del aire aumenta con la altura.¿Para qué valores de $\Lambda$ ocurre la convección libre?***

**2.- Cambio de la temperatura de una parcela de aire en movimiento vertical**

***Considerar una parcela de aire moviéndose arriba y abajo en la atmósfera Una parcela de aire es un volumen de aire, por ejemplo un cubo con dimensión de arista de varios metros, el cual se considera como una entidad termodinámicamente independiente, pero lo suficientemente pequeña para que su temperatura sea uniforme. El movimiento vertical de una parcela de aire se puede considerar como un proceso cuasiadiabático, esto es, el intercambio de calor con los alrededores se considera despreciable. Si la parcela de aire se eleva en la atmósfera, se expande y se enfría, por el contrario si se desplaza hacia abajo la presión exterior comprime al aire de la parcela y su temperatura aumenta.***

***Si el tamaño de la parcela no es grande la presión exterior en los diferentes puntos de la parcela se considera igual con el valor p(z), siendo z el centro de la parcela de aire. La temperatura de la parcela de aire es uniforme y vale $T_{par}(z)$ y en general es diferente de la temperatura T(z) del aire exterior. En los apartados 2.1 y 2.2 no se hace ninguna suposición acerca de la forma de T(z).***

***2.1.- El cambio en la temperatura de la parcela $T_{par}$ con la altura está definida por $\frac{dT_{par}}{dz} = -G$. Obtenga la expresión de G(T, $T_{par}$).***

***2.2.- Considerar que en la atmósfera se dan unas condiciones especiales para las que $T_{par}(z)=T(z)$. Utilizamos $\Gamma$ para indicar el valor de G cuando se cumple la relación anterior. $\Gamma$ se denomina <u>tasa de retraso adiabático seca.</u>***

***2.2.1.- Obtener la expresión de $\Gamma$ y 2.2.2.- Su valor numérico***

***2.2.3.- Obtener la expresión de la temperatura de la atmósfera T(z) en función de la altura.***

***2.3.- Suponer que la temperatura de la atmósfera depende de la altura***

***2.4.- Escribir la expresión aproximada de $T_{par}(z)$ cuando $|\Lambda z| << T(0)$ y $T(0)=T_{par}(0)$.***

## 3.- Estabilidad atmosférica

***En este apartado suponemos que T cambia linealmente con la altura.***

***3.1.- Considerar una parcela de aire que inicialmente se encuentra en equilibrio con el aire de sus alrededores a una altura*** $z_o$***, esto es, tiene la misma temperatura*** $T(z_o)$ ***que la del aire de los alrededores. Si la parcela se mueve ligeramente hacia arriba o hacia abajo (por la turbulencia atmosférica) ocurre uno de los tres siguientes casos:***

***1) La parcela de aire retrocede a su posición original*** $z_o$***, el equilibrio de la parcela es estable. La atmósfera es estable.***
***2) La parcela de aire mantiene su movimiento en la dirección original, el equilibrio es inestable. La atmósfera es inestable.***
***3) La parcela de aire permanece en la nueva posición, el equilibrio es indiferente. La atmósfera es neutra.***

***¿Cuál es la condición de*** $\Lambda$ ***para que la atmósfera sea estable, inestable o neutra?***

***3.2.- Una parcela de aire tiene una temperatura en la superficie de la tierra*** $T_{par}(0)$ ***mayor que la temperatura*** $T(0)$ ***del aire que la rodea. El empuje del aire exterior a la parcela es mayor que el peso de la parcela y ésta se elevará. Calcule la máxima altura que puede alcanzar en el caso de una atmósfera estable, en función de*** $\Lambda$ ***y*** $\Gamma$***.***

## 4.-La altura de mezcla

***4.1.- La tabla 1 muestra las temperaturas registradas mediante un globo sonda a las siete de la mañana de un día de Noviembre en Hanoi. El cambio de temperatura con la altura puede describirse aproximadamente por la ecuación $T(z) = T(0) - \Lambda z$ con diferentes valores de $\Lambda$ en las tres capas $0 < z < 96$ m , $96$ m $< z < 119$ m y $119$ m $< z < 215$ m***

***Tabla 1***

| *Altura/m* | *5* | *60* | *64* | *69* | *75* | *81* | *90* | *96* | *102* | *109* | *113* | *119* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Tempera-tura/ºC* | *21,5* | *20,6* | *20,5* | *20,5* | *20,4* | *20,3* | *20,2* | *20,1* | *20,1* | *20,1* | *20,1* | *20,1* |

| *Altura/m* | *128* | *136* | *145* | *153* | *159* | *168* | *178* | *189* | *202* | *215* | *225* | *234* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Tempera-tura/ºC* | *20,2* | *20,3* | *20,4* | *20,5* | *20,6* | *20,8* | *21,0* | *21,5* | *21,8* | *22,0* | *22,1* | *22,2* |

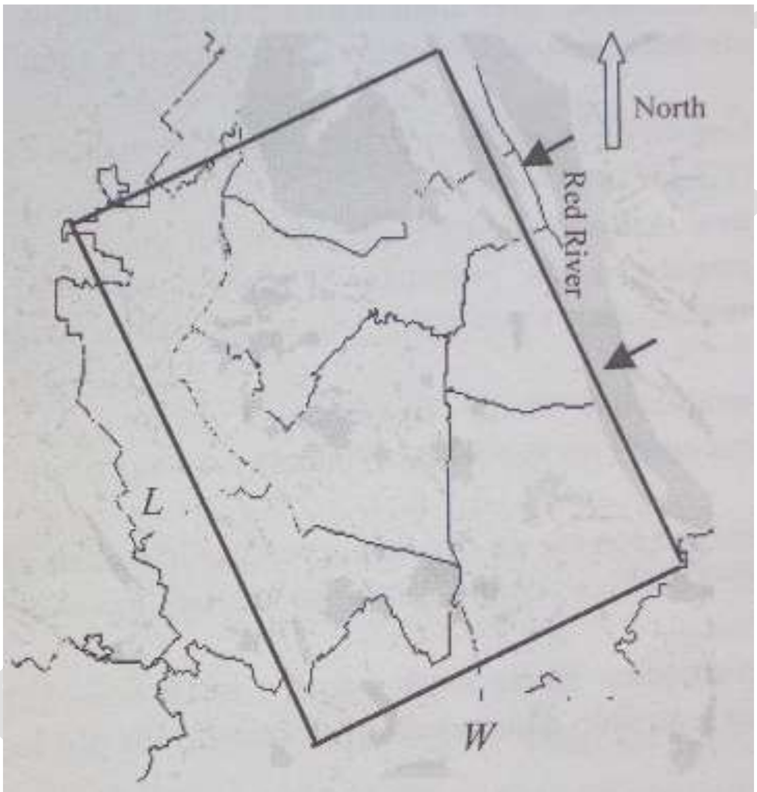
| *Altura/m* | *246* | *257* |
|---|---|---|
| *Tempera-tura/ºC* | *22,3* | *22,3* |

***Considerar una parcela de aire con temperatura $T_{par}(0)$=22ºC ascendiendo desde el suelo. A partir de los datos de la tabla 1 y utilizando aproximaciones lineales, calcular la temperatura de la parcela de aire a 96 m de altura y a 119 m.***

***4.2.- Determinar la máxima altura H que la parcela de aire puede alcanzar y su temperatura $T_{par}(H)$.***
***H es la llamada altura de mezcla, en ella los contaminantes procedentes del suelo se mezclan con el aire de la atmósfera (por viento, turbulencia y dispersión) y se diluyen dentro de esta capa.***

**5.-Estimación del contaminante CO producido por las motocicletas en la hora punta en la ciudad de Hanoi.**

***La ciudad de Hanoi tiene un área que puede considerarse como un rectángulo de dimensiones L y W tal como indica la figura, con uno de los lados paralelo a la ribera del Red River.***




***Se estima que durante la hora punta de la mañana, entre las siete y las ocho, están en las calles de la ciudad*** $8.10^5$ ***motocicletas, cada una recorre un promedio de 5 km emitiendo 12 g de CO por cada kilómetro recorrido. Se supone que el CO se emite de forma constante en el tiempo con una tasa M durante la hora punta. Al mismo tiempo un aire, libre de contaminantes, sopla perpendicular al Red River, esto es, perpendicular a los lados L del rectángulo de la figura, con una velocidad u que se mantiene constante dentro de los limites de la ciudad y que se lleva parte del CO fuera de la ciudad.***
***Consideramos el siguiente modelo aproximado:***
****El CO se dispersa rápidamente a través del volumen entero de la capa de mezcla que está encima de la ciudad de Hanoi, es decir, la***

*concentración de CO en el tiempo (t) , C(t), se supone que es constante dentro de la caja rectangular de dimensiones L, W , H.*

**El aire que penetra por el Red River no contiene contaminante y se admite que no hay pérdida de CO a través de los lados paralelos al viento.*

**Antes de las siete de la mañana la concentración de CO en el aire de la ciudad es despreciable.*

*5.1.- Obtenga la ecuación diferencial que determina C(t) en función del tiempo.*

*5.2.- Calcule el valor numérico de la concentración de CO a las ocho de la mañana, L = 15 km , W = 8 km y u =1 m/s*