

## **La XX Olimpiada de Ciencias de la Tierra: Geotermia y la Teoría de la Tierra Bola de Nieve**

Gómez Treviño, Enrique

egomez@cicese.mx

División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California, México.

### **Presentación**

Neutrinos en la geotermia, producción de energía eléctrica en yacimientos geotérmicos de la península de Baja California, fumarolas submarinas, máquinas que mueven calor de un lugar a otro y que pueden extraer calor hasta del hielo, tuberías enterradas para hacer más eficientes los aires acondicionados y la calefacción, y para terminar, los millones de años que la Tierra estuvo completamente cubierta de hielo, incluyendo los océanos. Nada de esto se cubre en los programas de bachillerato por lo que consideramos que serían buenos temas para complementar la educación en ese nivel.

Como en años anteriores, se preparó una guía que se publicó un mes antes del examen y que se incluye en esta comunicación. Esta vez se incluyeron ligas a varios videos como motivación inicial a sus propias búsquedas en internet. Como siempre, los temas se presentan de tal forma que sean manejables por estudiantes de preparatoria a quienes se aplicará el examen posteriormente. Como se ha mencionado en comunicaciones anteriores, el objetivo de estas olimpiadas no es tanto evaluar lo que se enseña en el programa oficial de preparatorias, sino ampliarlo a contenidos que consideramos deberían ser parte esencial de la educación-instrucción en ese nivel, con un balance teórico-práctico que los motive a entender mejor su entorno.

El primer lugar lo obtuvo José Dionicio Espinoza Ureta y el segundo David Alberto Pérez Fletes, ambos del COBACH plantel La Mesa; mientras que el tercer lugar fue para Brenda Castro Alameda del COBACH plantel Tijuana Siglo XXI. José Dionicio y David Alberto fueron asesorados por el Quím. Manuel Armando Gómez Piñón y Brenda por la Ocean. Gabriela de la Selva Rubio, ambos profesores en sus respectivos planteles.

**Geotermia y la Teoría de la Tierra Bola de Nieve: Guía para la XX Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 5 de junio de 2015. Auditorio de Ciencias de la Tierra. CICESE. Ensenada, Baja California.**

**Nota.** El tema de este año fue motivado por la reciente creación en el CICESE del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica o CeMIE-Geo

### **Introducción**

La guía está organizada de la siguiente manera. Primero se considera que el planeta Tierra produce calor, no tanto calor como el Sol, pero sí suficiente para que su interior fluya como un líquido y mueva las placas tectónicas causando volcanes y terremotos. Enseguida se verá cómo ese calor se utiliza en algunos lugares para producir energía eléctrica. Aunque la producción de energía eléctrica es la aplicación más llamativa de la geotermia,

no es la única ni la que más se aprovecha. De hecho, la aplicación más común es enterrar tuberías para que los sistemas de aire acondicionado y calefacción se hagan más eficientes y ahorren energía. Cerramos con un tema aparentemente opuesto a la geotermia: La Teoría de la Tierra Bola de Nieve.

### **El ardiente interior de la Tierra**

Como entrada a los temas de este año se recomienda ver con mucha atención los videos cuyas ligas se dan en cada caso. El primero ilustra la deriva continental y la tectónica de placas: <https://www.youtube.com/watch?v=mztXG56fftU>. En el video se ilustra cómo las placas tectónicas se han movido en el pasado para llegar a la posición actual. También se habla sobre volcanes y sobre las llamadas dorsales oceánicas donde roca fundida sale del manto formando corteza nueva. Para el tema de este año el enfoque es una pregunta que debería hacerse cualquiera que vea el video. ¿Por qué el interior de la Tierra está tan caliente que fluye como un líquido? Esto es todavía un tema de investigación sobre el cual no se tiene una respuesta completa. En el año 2005 se pudo medir con mucha precisión la proporción de energía que producen los elementos radiactivos en el interior de la Tierra. Ustedes investiguen la proporción y la forma en que lo midieron en búsquedas en Internet.

También busquen cómo aumenta en promedio la temperatura con respecto a la profundidad, lo que se conoce como gradiente térmico. Este gradiente ya se conocía desde el siglo XIX y fue utilizado por Lord Kelvin para calcular la edad de la Tierra, la cual según sus cálculos no podía tener más de 100 millones de años desde que empezó a enfriarse. Si tuviera más años ese gradiente debería ser mucho menor de lo que es. Sus cálculos estaban bien, pero en su tiempo no se había descubierto la radiactividad. Esto

es, no tomó en cuenta que en el interior de la Tierra existen fuentes de calor como los isótopos radiactivos que no la deja enfriarse tan rápido. Ahora ya se sabe que la Tierra tiene muchos más millones de años. También busquen el promedio sobre toda la Tierra del flujo de calor que sale del planeta. Encontrarán que esto lo expresan en  $W/m^2$ , por lo que puede compararse con lo que recibe del Sol la superficie de la Tierra. Tal vez no encuentren este promedio en internet pero se puede calcular conociendo lo que se recibe en el ecuador y considerando que la Tierra es una esfera. Este cálculo es un buen ejercicio de física y geometría, muy simple, pero con dos consideraciones especiales que a veces se nos escapan. Como video complementario vean este sobre fumarolas negras descubiertas hace algunas décadas: <https://www.youtube.com/watch?v=grdK1A2Jrjl>. De hecho, aquí muy cerca en el Mar de Cortés hay muchas de estas fumarolas con ecosistemas que no necesitan del Sol.

### **Producción de electricidad**

Pasamos ahora a la producción de electricidad mediante la energía geotérmica. El video recomendado es sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto localizado en Mexicali. La liga es: <https://www.youtube.com/watch?v=TU6luP2Redw>. En algunos lugares de la Tierra se da en forma natural algo similar a una olla de presión como las que se utilizan para cocinar. Una fuente de calor por abajo, rocas con mucha agua en el medio, y una tapa por arriba para que no escape el vapor. Perforando la tapa sale vapor de agua a muy alta presión y temperatura. El vapor se envía a un cuarto de máquinas donde hace girar turbinas que producen energía eléctrica. Las plantas convencionales necesitan quemar carbón o gas natural para producir el vapor. En una planta geotérmica el vapor sale de los pozos y se ahorra la quema de combustible. En el video se menciona que en México hay cuatro lugares con plantas geotérmicas. Investiguen

estos lugares y busquen cual es la capacidad instalada en cada caso, así como la proporción que representa la geotermia con respecto al total de energía eléctrica que se produce en el país, y el lugar que ocupa México en el mundo.

### Bombas de calor

Muy relacionado con la geotermia está lo que se conoce como climatización geotérmica mediante bombas de calor. No se trata simplemente de llevar agua caliente a una casa y hacerla circular por tuberías como sistema de calefacción. Esto de hecho se hace en lugares donde hay disponibilidad de aguas termales. Por su parte, las bombas de calor geotérmicas se pueden utilizar casi en cualquier parte. Además, pueden funcionar como calefacción y también como refrigeración. De hecho, un refrigerador de casa es una bomba de calor que funciona también al revés, como calefacción. Imaginen un refrigerador colocado entre dos cuartos contiguos, el frente da a uno de los cuartos y la parte de atrás hacia el otro cuarto. Ahora pongan a funcionar el refrigerador y ábranle las puertas. ¿Qué va a pasar? No es difícil imaginarlo. El cuarto que tiene el refrigerador abierto tenderá a enfriarse y el que le tocó la parte de atrás tenderá a calentarse. Lo del enfriamiento lo comprobamos todos los días al abrir el refrigerador. Para comprobar el calentamiento acerquen su mano a la parte de atrás del refrigerador. Un refrigerador es una bomba de calor que mueve calor de un lugar a otro. En este caso lo toma de la parte de adentro y lo mueve hacia afuera. El calificativo de bomba es por el parecido a cómo se mueve el agua bajo el efecto de la gravedad. El agua fluye naturalmente de arriba hacia abajo y para que fluya de abajo hacia arriba se necesita forzarla o bombearla. Lo mismo con el calor, que fluye naturalmente de lo caliente a lo frío y para que fluya de lo frío a lo caliente hay que forzarlo o bombearlo. El refrigerador necesita estar trabajando para conservarse frío en su interior. En un corte prolongado de energía eléctrica se

comprueba que el calor fluye de lo caliente a lo frío: todo en el refrigerador se echa a perder. Por cierto, el frío no existe. Lo que está frío es simplemente que tiene menos calor.

### Bases científicas de las bombas de calor

Las bombas de calor se inventaron basándose en las leyes de los gases. Una de estas leyes establece que un gas se calienta cuando se comprime rápidamente. El siguiente video los va a impresionar: <https://www.youtube.com/watch?v=4qe1Ueifekg>. Aquí encienden fibras de algodón comprimiendo el aire, y lo hacen sin aparatos complicados. Igualmente impresionante es este otro video donde se muestra que el vapor de agua al expandirse se enfría y se convierte en gotitas de agua: <https://www.youtube.com/watch?v=6S88XeA6fbM>. El vapor sale muy caliente de una olla de presión pero al expandirse se enfría y se convierte en gotitas de agua no tan calientes. Volviendo al refrigerador, la expansión se realiza en el interior (la tubería no se ve) y la compresión en el exterior (la tubería sí se ve). Repitiendo el ciclo expansión-compresión muchas veces la parte de adentro se pone cada vez más fría (puerta del refrigerador cerrada). La tubería exterior, donde se realiza la compresión, se calienta poco porque el calor se dispersa en el aire (el aire de la cocina se calienta un poco). En su modo de calefacción una bomba de calor extrae calor del aire exterior y lo mueve hacia el interior de la casa. Aunque el aire esté frío se le puede extraer calor y hacer que fluya hacia la casa; recuerden que se trata de una bomba de calor. De hecho, al aire o a cualquier sustancia se le puede extraer calor sin importar su temperatura, al menos que ya le hayan extraído todo el calor que tenía. Una sustancia cualquiera ya no tiene calor cuando su temperatura es  $0^{\circ}\text{K}$ , o cero absoluto, lo que equivale a  $-273^{\circ}\text{C}$ . Si el aire exterior está a cero grados centígrados, aún así se le puede extraer calor para calentar una casa.

## Eficiencia de las bombas de calor

La diferencia de temperatura entre el exterior y el interior es muy importante en relación a la eficiencia. En Mexicali saben muy bien que en el mes de más calor los sistemas de refrigeración consumen más energía. La razón es que el calor que se extrae de la casa se debe disipar en el aire exterior, y si este aire está muy caliente la disipación no es muy buena. Si el aire exterior está más frío la disipación se da mejor y la casa se enfría más rápido. Según encontrarán en sus búsquedas la eficiencia de una bomba de calor depende inversamente de la diferencia de temperatura entre exterior e interior. Si la diferencia es grande la eficiencia es pequeña y al revés, si la diferencia es pequeña la eficiencia es grande. Las fórmulas para la eficiencia son muy simples, fueron descubiertas en el siglo XIX en relación con la maquinas de vapor y se aplican también a las bombas de calor. Y aquí es donde entra lo de geotermia en las bombas de calor geotérmicas. Estas son bombas de calor como las que depositan o extraen calor del aire, pero en lugar del aire utilizan la tierra. Vean el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=uF72uLc4ea4>. La temperatura a pocos metros de profundidad prácticamente no cambia a lo largo de todo el año, siendo más baja que la del aire en verano y más alta que la del aire en invierno. La situación es ideal para mejorar la eficiencia tanto del aire acondicionado como de la calefacción. Las fórmulas y más información la pueden encontrar en Internet, así como unidades, conversiones, capacidad instalada en el mundo, etc.

## La Teoría de la Bola de Nieve

El video <https://www.youtube.com/watch?v=H2t2eUGpDR0> resume en pocos minutos las deducciones que han hecho los científicos buscando y encontrando evidencias en rocas muy antiguas. El video empieza con la formación de la Tierra y termina en una época

en que toda la Tierra estaba congelada, incluidos los océanos. Céntrense en la última parte. Relacionen las fechas (millones de años) con la desaparición de los dinosaurios, la separación de América del Sur de África y la apertura del Mar de Cortés. También busquen la fecha cuando la Placa de la India chocó con la placa Euroasiática formando las montañas del Himalaya. El sismo reciente de magnitud 7.8 en Nepal ocurrió en esta área, lo que indica que el calor interno de la Tierra sigue tan activo como siempre.

## El examen

Como siempre, en total serán 100 preguntas. Sobre el presente tema de Geotermia y la Teoría de la Tierra bola de Nieve serán 30 preguntas. Estas 30 preguntas tendrán un valor de 2.5 puntos cada una para un valor total de 75 puntos. Sobre Trilateración: Sismos, GPS, rayos y teléfonos celulares (XIX Olimpiada) serán 25 preguntas. Sobre La Fórmula del calentamiento Global (XVIII olimpiada) serán 25 preguntas. Sobre Gaia serán 20 (XVII olimpiada). Aristarco de Samos (XVI olimpiada) queda fuera y no habrá preguntas al respecto. Estas 70 preguntas las pueden consultar en los informes correspondientes a las olimpiadas mencionadas, que están disponibles en esta misma página (<http://olimpiadas.ugm.org.mx>). Estas 70 preguntas tendrán un valor de 5/14 de punto cada una para un valor total de 25 puntos. Para los que no han asistido a nuestras olimpiadas se les recomienda ver en YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=Q5d-4HvP32U>.

## Inscripciones

Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en grupo por correo electrónico, según se indica en esta página, porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir

los diplomas de participación, el número de mesas y sillas que necesitaremos, así como la cantidad de comida que debemos ordenar. Por lo general recibimos a alrededor de 90 participantes. Aunque nunca hemos puesto límites, si es necesario limitaremos a 100 el número de participantes por cuestiones de cupo en el auditorio.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10: AM se entregarán los gafetes con sus nombres. A las 10:00 AM inicia el examen y se termina a las 12:01 PM. Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sísmológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Entre las 2:00 y 3:00 PM se harán las premiaciones.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño.  
Coordinador de las Olimpiadas

## Examen

### Las 30 preguntas nuevas del examen

1. Se estima mediante mediciones de flujo de calor alrededor de la Tierra que ésta emite al espacio 47 TW (terawatts). Considerando que la Tierra tiene un radio de 6,370 km, calcular el flujo de calor por metro cuadrado. La pregunta es el tamaño que deberá tener un terreno cuadrado para que el flujo de calor equivalga a la energía por segundo que consume un foco de 100 W. El lado del cuadrado en metros es

- a) 4    b) 8    c) 16    d) 32

2. La Tierra recibe del Sol 174,000 TW en las capas altas de la atmósfera. Se refleja una parte

y otra se absorbe en partículas de polvo, etc., de tal forma que a la superficie llega una fracción de dicha cantidad. Suponiendo que lo que llega a la superficie sea sólo de 100,000 TW, la pregunta es: ¿A cuántos focos de 100 W equivale lo que llega al terreno de la pregunta anterior?

- a) 250    b) 500    c) 1,000    d) 2,000

3. La autoridad de Lord Kelvin y su argumento basado en el enfriamiento de la Tierra desde un estado incandescente mantuvo a la geología y a la biología en suspenso por mucho tiempo. La edad de 100 millones de años que calculaba Lord Kelvin era insuficiente para explicar la formación de montañas y su erosión. La teoría de la evolución de Darwin también necesitaba más tiempo para explicar la formación y transformación de las diferentes formas de vida. Ahora todo es compatible gracias al descubrimiento de la radiactividad. Se ha logrado determinar con bastante exactitud y precisión que la Tierra tiene una edad muchas veces mayor a la determinada por Lord Kelvin. ¿Cuántas veces?

- a) 15    b) 25    c) 35    d) 45

4. En las rocas, los átomos de los elementos radiactivos al descomponerse en otros más pequeñas lo hace violentamente, golpeando a otros y haciendo que aumente la temperatura de la roca. Cuando se descubrió la radiactividad y sus efectos en las rocas el argumento de Lord Kelvin se invalidó. La Tierra podría seguir caliente en su interior porque contaba con una fuente que proporcionaba calor continuamente. Sin embargo, faltaba la parte cuantitativa. En otras palabras: ¿Cuánto de ese calor se debe a la radiactividad? Hace apenas 10 años que se sabe con certeza cuánto del flujo de calor que sale de la Tierra se debe a la radiactividad. Expresado en porcentaje la cantidad de calor debido a la radiactividad es

- a) 20    b) 30    c) 40    d) 50

5. Geoneutrino es el término acuñado para describir la partícula elemental que se detecta y cuyo número indica la cantidad de átomos radiactivos que se dividen en el interior de la Tierra. Lo anterior en referencia a que cuando un átomo se divide, además de los átomos más pequeños también salen disparadas partículas elementales que prácticamente no chocan con nada y que pueden atravesar la Tierra entera sin ser detenidos. Sin embargo, en realidad sí pueden ser detenidos o detectados mediante aparatos diseñados para ello, aunque se detecte uno cada mes de los muchísimos que se producen en el interior de la Tierra. En sus búsquedas seguramente encontraron que el detector se encuentra en Japón, y que en realidad no detecta neutrinos sino

- a) Positrones
- b) Neutrones
- c) Antineutrinos
- d) Rayos Beta

6. Uno de los siguientes elementos no tiene isótopos radiactivos que contribuyan a la producción de calor en el interior de la Tierra:

- a) Torio
- b) Sodio
- c) Uranio
- d) Potasio

7. La fusión de una roca depende de tres factores: temperatura, presión y composición. Las rocas están formadas por diferentes minerales cada uno de los cuales se funde a diferente temperatura y presión. El concepto de fusión parcial que seguro encontraron en sus búsquedas se refiere a eso, a que a una profundidad dada unos minerales pueden estar fundidos y otros no. Ignorando el efecto de la presión podemos estimar la profundidad a que se fundiría un mineral cualquiera. Suponiendo un gradiente geotérmico de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ : ¿A qué profundidad se funde un mineral cuya temperatura de fusión es de  $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

- a) 48
- b) 58
- c) 68
- d) 78

8. La comparación que se hace en una de las preguntas anteriores entre el flujo de calor terrestre y un foco de 100 W es sólo con fines ilustrativos. No significa que se pueda utilizar todo ese calor en encender el foco. Para que resulte práctico convertir el calor de la Tierra en electricidad se requieren condiciones especiales según se explicó en la guía. Entre otras cosas, la fuente de calor debe estar muy cerca de la superficie y el flujo debe ser mucho mayor al promedio de toda la Tierra. Por lo general esto ocurre en regiones volcánicas. Actualmente hay 24 países que explotan la geotermia para producir energía eléctrica. La pregunta es: ¿Qué país de los cuatro siguientes produce más energía eléctrica con geotermia?

- a) México
- b) Islandia
- c) Filipinas
- d) Estados Unidos

9. La capacidad instalada en el campo geotérmico de Cerro Prieto es de 720 MW (megawatts). ¿Cuántos watts per cápita representa esto para el estado de Baja California?

- a) .22
- b) 2.2
- c) 22
- d) 220

10. La capacidad instalada en el campo geotérmico del volcán Las Tres Vírgenes en Baja California Sur es de sólo 10 MW. Expresando esta cantidad en W per cápita para el municipio de Santa Rosalía, el cual es el más cercano al volcán y tiene 12,000 habitantes da como resultado

- a) 8.3
- b) 83
- c) 830
- d) 8,300

11. Per cápita, los habitantes de Santa Rosalía utilizan más la energía geotérmica que lo habitantes de Baja California. ¿Cuántas veces?

- a) 4
- B) 40
- c) 400
- d) 4,000

12. El agua fluye naturalmente de arriba hacia abajo. Si queremos que fluya de abajo hacia arriba hay que emplear una bomba para que haga el trabajo. Este trabajo es igual a la masa multiplicada por la gravedad y por la diferencia de alturas. Si se dobla la diferencia de alturas se dobla también el trabajo. Algo parecido pasa con las bombas de calor. El calor fluye naturalmente de lo caliente a lo frío. Si queremos que fluya de lo frío a lo caliente hay que emplear una bomba de calor. Siguiendo la analogía con las bombas de agua, a mayor diferencia de temperatura se requerirá hacer más trabajo. La altura juega el papel de la temperatura. Sin embargo, los conceptos y las fórmulas son diferentes. En el caso del calor se utiliza el concepto de coeficiente de rendimiento (COP por sus siglas en inglés: coefficient of performance). Cuando la bomba de calor se utiliza como calentador se mueve una cantidad de calor  $Q_c$  de la parte fría hacia la que se desea calentar, y para ello se invierte un trabajo  $W$ . La fórmula para el  $COP_c$ , donde el subíndice c se refiere a calor, es

- a)  $COP_c = (Q_c + W) / W$       b)  $COP_c = (Q_c + W) / Q_c$   
 c)  $COP_c = Q_c / W$               d)  $COP_c = (Q_c * W) / W$

13. Cuando la bomba de calor se utiliza para refrigeración se mueve una cantidad de calor  $Q_f$ . La fórmula para el  $COP_f$ , donde el subíndice f se refiere a frío, es

- a)  $COP_f = Q_f / W$               b)  $COP_f = (Q_f + W) / Q_f$   
 c)  $COP_f = (Q_f + W) / W$       d)  $COP_f = (Q_f * W) / W$

14. Las formulas anteriores se refieren al rendimiento en la práctica de equipos funcionando. Las variables  $Q_c$ ,  $Q_f$  y  $W$ , las primeras dos se calculan en base a la temperatura del cuarto que se está calentando o enfriando, y la tercera representa la energía que se invierte para que funcione la bomba. Estos rendimientos se van mejorando con los avances en tecnología

(los muy conocidos mini-splits son bombas de calor). Sin embargo, hay límites que no pueden sobrepasarse porque violarían las leyes físicas. Hay fórmulas que expresan el rendimiento máximo posible o ideal en términos de la diferencia de temperaturas entre las partes caliente y fría, sin importar los avances en la tecnología. El máximo posible en la modalidad de calor es

- a)  $COP_c = T_c / (T_c - T_f)$       b)  $COP_c = T_f / (T_c - T_f)$   
 c)  $COP_c = T_c / (T_f - T_c)$       d)  $COP_c = (-T_c) / (T_c - T_f)$

15. El máximo posible en la modalidad de refrigeración es

- a)  $COP_c = T_f / (T_c - T_f)$       b)  $COP_c = T_f / (T_f - T_c)$   
 c)  $COP_c = T_c / (T_f - T_c)$       d)  $COP_c = (-T_c) / (T_c - T_f)$

16. ¿Cuál es la eficiencia máxima posible (COP) de una bomba de calor operando como calentador cuando la temperatura exterior del aire es de 0°C y se quiere una temperatura interior de 35 °C? (Nota: Esta temperatura interior es muy alta pero es el estándar que se utiliza comúnmente.) Una vez calculado el COP máximo posible considerar que en la práctica sólo se logra una fracción del mismo, y que esta fracción es de ½. En la práctica se lograría un COP de

- a) 0.5    b) 2.2    c) 1.9    d) 4.4

17. Si en lugar de estar en el aire la tubería exterior a 0 °C la enterramos y la temperatura a profundidad es de 10 °C, la eficiencia (COP) se mejorará puesto que la diferencia de temperaturas ahora es menor entre el exterior y el interior. ¿Cuál es la eficiencia máxima posible en este caso? Siguiendo el criterio de que en la práctica sólo se logra un 50% del máximo posible: ¿Cuál es la eficiencia (COP) al enterrar las tuberías exteriores?

- a) 1    b) 2.8    c) 4.4    d) 6

18. En la práctica: ¿Cuánto se mejoró el COP al cambiar aire por tierra?

- a) 36%   b) 46%   c) 26%   d) 40%

19. ¿Cuál es la eficiencia máxima posible (COP) de una bomba de calor operando como refrigerador cuando la temperatura exterior es de  $45^{\circ}\text{C}$  y se quiere una temperatura interior de  $0^{\circ}\text{C}$ ? Como en el caso anterior, suponer que en la práctica sólo se alcanza una eficiencia del 50% del máximo ideal. En este caso el COP en la práctica sería

- a) 3.9   b) 4.9   c) 5.9   d) 6.9

20. Si en lugar de estar en el aire la tubería exterior a  $45^{\circ}\text{C}$  la enterramos y la temperatura a profundidad es de  $10^{\circ}\text{C}$ , la eficiencia se mejorará puesto que la diferencia de temperaturas ahora es menor entre el exterior y el interior. Con el mismo criterio del 50% ¿Cuál es la eficiencia en la práctica con las tuberías enterradas?

- a) 4.6   b) 6.4   c) 13.6   d) 15.8

21. En la práctica: ¿Cuánto se mejoró el COP al cambiar aire por tierra?

- a) 50%   b) 150%   c) 250%   d) 350%

22. La fórmula del  $\text{COP}_c$  es diferente que la del  $\text{COP}_f$ . Esto se debe a que para depositar calor en el foco caliente, el fluido que viene del foco frío se comprime, se invierte trabajo en ello y se calienta. En otras palabras, que el trabajo  $W$  se convierte en calor. Este calor no es calor que viene del foco frío, sino calor nuevo que se deposita en el foco que se está calentando. Esto hace que el  $\text{COP}_c$  sea mayor en igualdad de circunstancias que el  $\text{COP}_f$  por la cantidad de

- a) 100   b) 10   c) 1   d) 2

23. Un calentador a base de calentar una resistencia mediante energía eléctrica también tiene su COP. Y lo mismo para un calentador a base de quemar gas. En ninguno de los dos casos se trata de una bomba de calor porque no utilizan la energía que consumen para mover calor. En ambos casos se trata de la conversión directa de un tipo de energía en calor. ¿Cuál es el máximo posible COP de este tipo de calentadores?

- a) 0   b) 0.5   c) 1   d) 2

24. Es muy común ver que la potencia de los aires acondicionados se mida en toneladas. Al respecto hay una anécdota que cuentan los técnicos que instalan estos equipos, sobre una persona a la que le dijeron que le instalarían en su casa un aparato de dos toneladas. A lo que la persona les respondió: ¿Y cómo van a subirlo al segundo piso siendo tan pesado? La confusión se debe a la historia: hace más de cien años se utilizaba como medida de enfriamiento el calor necesario para fundir una tonelada de hielo en 24 horas. El hielo se recogía de los ríos congelados en invierno y se vendía para utilizarse en verano. Lo de una tonelada se refería a lo que se llama una tonelada corta (907 kg), y en lo relativo al enfriamiento se refería al calor que absorbe esa tonelada de hielo para convertirse en agua en 24 horas. Los datos son: se requieren 80 calorías para fundir un gramo de hielo, y una caloría equivale a 4.184 joules. ¿Cuántos joules se necesitan para fundir una tonelada corta de hielo?

- a) 160,458   b) 260,567  
c) 303,591   d) 424,569

25) La unidad de tonelada en los aires acondicionados se refiere a fundir esa cantidad de hielo en 24 horas, por lo que se trata de una unidad de potencia. ¿Cuál es esta potencia en watts?

- a) 514   b) 1,514   c) 2,514   d) 3,514



26) El periodo geológico en el que sitúan una Tierra con temperaturas promedio muy bajas (prácticamente toda la Tierra congelada incluidos los océanos) se conoce como

- a) Pérmico
- b) Glacial
- c) Rodinio
- d) Criogénico

27) En el tiempo de La Tierra Bola de Nieve los continentes que existían estaban todos juntos en un super-continente llamado

- a) Pangea
- b) Rodinia
- c) Gondwana
- d) Laurasia

28) La Tierra Bola de Nieve es anterior a la apertura del Océano Atlántico. ¿Cuántas veces?

- a) 2
- b) 4
- c) 6
- d) 8

29) La Tierra Bola de Nieve es anterior a la extinción de los dinosaurios. ¿Cuántas veces?

- a) 2
- b) 3
- c) 5
- d) 10

30) La Tierra bola de Nieve es anterior a la apertura del Mar de Cortés. ¿Cuántas veces?

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 60