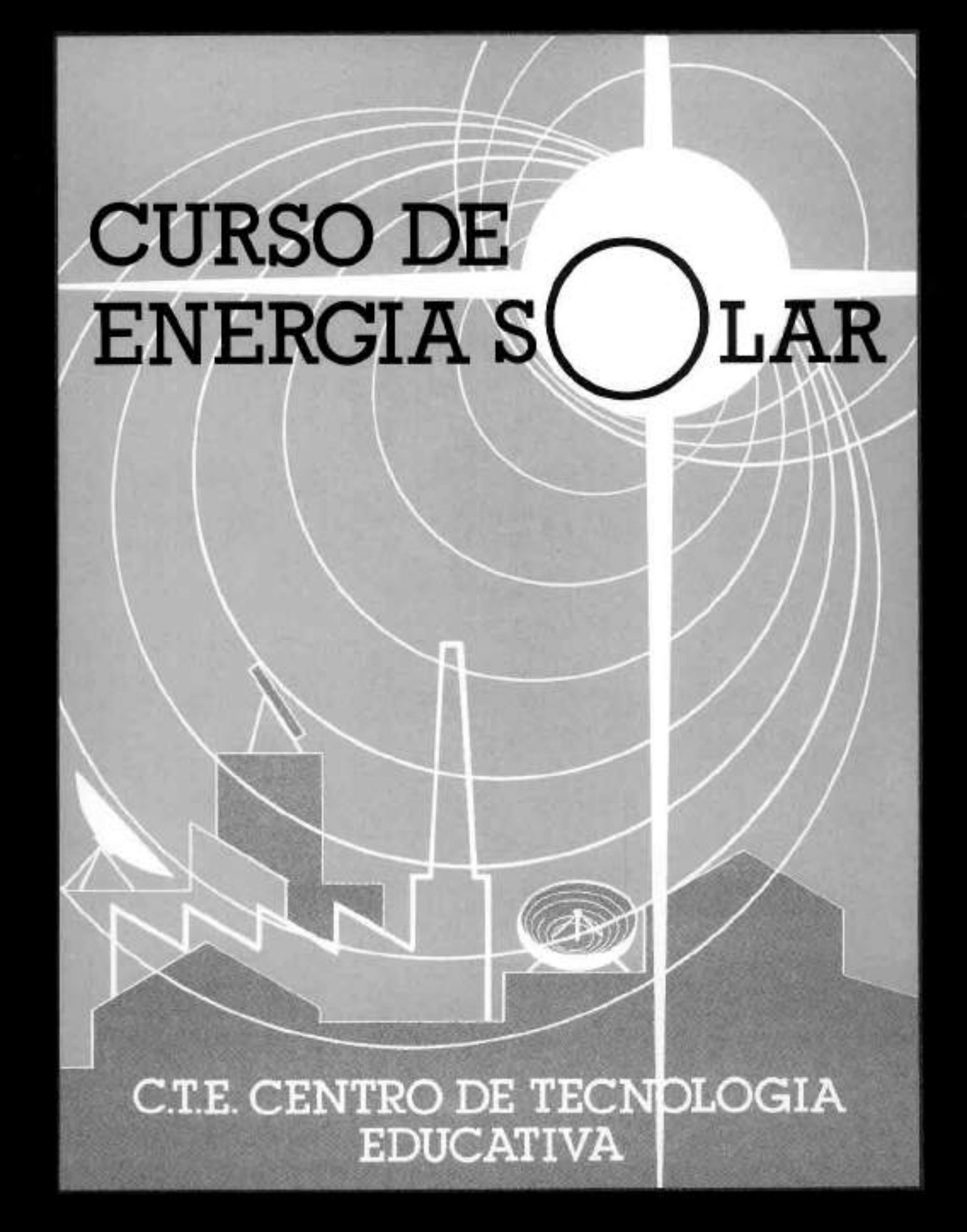




CURSO DE ENERGIA SOLAR

C.T.E. CENTRO DE TECNOLOGIA
EDUCATIVA

CURSO DE ENERGÍA SOLAR

TOMO 1

El presente Curso de Energía Solar, especialmente pensado para la enseñanza a distancia, ha sido desarrollado por el siguiente equipo de profesionales:

- **Textos:** Jaume Ribot i Martín, *Ingeniero Industrial, ex-profesor de la Universidad Politécnica de Barcelona, miembro de ISES (International Solar Energy Society).*
- **Dibujos:** Antonio Escuder Torres.
- **Ilustraciones humorísticas:** Pere Rovira Castella.
- **Fotografías:** J. Ribot y archivo de CTE.
- **Maquetación y montaje:** Albert Rovira Sumalla.
- **Supervisión didáctica:** José L. Barón Sesé.



© Centro de Tecnología Educativa, S.A.
Via Augusta, 17 1º 3ª 08006 Barcelona

Cuarta edición, enero 2001
ISBN Obra completa: 84-7608-054-9
ISBN Torno 1: 84-7608-049-2
Depósito Legal B-668-2001

Impreso en Imprimeix, S.L.
C/. Eduard Maristany, 100 Badalona (Barcelona)

Reservados los derechos para todos los países.
Prohibida la reproducción total o parcial



	<u>Pág.</u>
Presentación del Curso de Energía Solar	5
Preámbulo	7
Lección 1. Unidades físicas. Definiciones de carácter general. El sistema internacional de unidades de medida (S.I.). Unidades fundamentales del Sistema Internacional. Unidades derivadas. Unidades no anglosajonas que no pertenecen al Sistema Internacional. Unidades anglosajonas. Definiciones de las unidades fundamentales S.I. Datos de interés.	9
Lección 2. La energía en el mundo moderno. Evolución histórica de la demanda energética. Importancia de los diferentes tipos de energía. Energías renovables. Energías no renovables. Energías de tipo intermedio. La situación energética en España. Datos de interés.	35
Lección 3. El potencial real de la energía solar. Estructura y datos del sol. La radiación solar. Influencia de la atmósfera. Distribución mundial de la energía solar. Usos y aplicaciones de la energía solar. Datos de interés.	59
Lección 4. El movimiento aparente del Sol. Características generales del movimiento aparente del Sol. Ángulo de incidencia de la radiación solar. Declinación. Latitud geográfica. Inclinación. Orientación. Ángulo horario. Ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie plana. Datos de interés.	79



PRESENTACION DEL CURSO DE ENERGIA SOLAR

Jaume Ribot colaboró con el Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Catalunya a finales de los años setenta en el marco de las actividades de desarrollo de la energía solar en dicha institución. Eran unos tiempos en los que los «coletazos» de la crisis del petróleo llegaban dramáticamente a España, y la utilización de fuentes renovables de energía adquirió un gran interés. Es en ese momento cuando las cualidades de Jaume Ribot se pusieron de manifiesto: un gran entusiasmo por contribuir a un mejor aprovechamiento energético y un sentido eminentemente práctico que desarrolló en sus actividades en el Instituto. Tras finalizar su estancia en nuestro Instituto, su actividad profesional le llevó a dedicar varios años a diversas actividades técnicas. De nuevo Jaume Ribot vuelve a contribuir al desarrollo de la energía solar sin haber perdido el entusiasmo primitivo, pero enriquecido con la madurez que proporciona la acumulación de experiencia personal y la solidez de una tecnología como la de utilización térmica de la energía solar, que ya ha superado la fase inicial de su desarrollo.

El haber escrito este Curso de Energía Solar ha sido para los que le conocemos una grata sorpresa. Las lecciones que componen este Curso de enseñanza a distancia tienen el sello de las cosas vividas y hechas con ilusión, cualidades que su autor siempre ha manifestado en su quehacer ordinario. Esta proyección hacia la realidad concreta de los contenidos del Curso se efectúa sin sacrificar un rigor que es necesario y que ayudará, sin duda, al estudioso de sus lecciones a resolver problemas prácticos de la utilización térmica de la energía solar, tanto en sus aspectos técnicos como económicos.

Es asimismo interesante hacer notar el cuidado que se ha puesto en ofrecer una explicación física de los fenómenos que acontecen en la utilización de la energía solar de manera que no sólo se proporcione al lector una herramienta de trabajo útil, sino que se le ayude a interpretar la realidad física y, por lo tanto, a ser capaz de incrementar los propios instrumentos de trabajo que se le ofrecen.

Por todas las características antes señaladas, y por el esfuerzo que representa el haber redactado este Curso de manera inteligible en un panorama en el que no abundan las publicaciones técnicas de esta naturaleza, queremos expresar a su autor nuestra felicitación y simpatía y el deseo de que este Curso pueda contribuir a mejorar los usos eficaces de la energía.

XAVIER ORTEGA ARAMBURU
Director del Instituto de Técnicas Energéticas
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA

PREÁMBULO

Pudiera parecer al lector profano que un texto de Energía Solar debería limitarse a unas pocas docenas de páginas, donde se explicasen los fundamentos, forma de captar esta energía y sus posibles aplicaciones. Nada más lejos de la realidad, puesto que la Energía Solar abarca un amplísimo campo incluyendo a otras energías alternativas como la hidráulica, eólica, biomasa, energía de las olas marinas, etc. que no son más que energía solar debidamente transformada.

Este curso ha sido escrito especialmente pensado en que es un curso a distancia y por ello se ha utilizado una pedagogía adecuada al caso.

Se supone que el alumno tiene ya una serie de conocimientos generales, adquiridos tanto en la enseñanza escolar como de la experiencia diaria. Presuponemos que domina perfectamente las cuatro reglas y que posee ciertos conocimientos de matemáticas, física, etc., absolutamente necesarios para un correcto aprovechamiento de este Curso.

Dadas estas características, se usa una doble metodología pedagógica: por una parte se utiliza una metodología activa, introduciendo en cada lección ideas o hechos que tal vez a primera vista parecen no estar excesivamente relacionados entre sí, o que se explican en detalle en alguna lección posterior.

Este sistema tiene una gran virtud: Fuerza, en general inconscientemente, al alumno a interesarse por relacionar estos conocimientos entre sí, o por ampliarlos, con lo que se obtiene un mejor aprovechamiento del Curso.

Por otra parte, se incluye al final de muchas lecciones una serie de tablas, datos, programas de ordenador, etc. Esto corresponde a la parte de metodología no activa, en la que el alumno tiene a su disposición una serie de conocimientos e informaciones sumamente interesantes.

El aprovechamiento correcto de este Curso permitirá que el alumno adquiera los conocimientos suficientes para realizar o proyectar instalaciones de energía solar que funcionen correctamente y no presenten problemas. Creemos que a aquellos alumnos especialmente interesados



en una perspectiva profesional en este campo, el método les será fundamental para el desarrollo de su actividad.

Este Curso consta de 36 lecciones, de las que aproximadamente la cuarta parte son temas no específicos de la Energía Solar, pero que están íntimamente relacionados con ella. Así, se tratan también determinados conceptos de Física, Astronomía de posición, Química, Resistencia de materiales, Ingeniería general, Informática, Derecho, etc., lo que hace que el método sea muy completo, ya que ofrece una visión panorámica exhaustiva de todas las materias que tienen puntos de contacto con el tema central objeto de estudio.

Unas aclaraciones finales :

Se ha introducido el uso de unidades del Sistema Internacional (SI), dedicándose la primera lección al tema. Con ello esperamos acelerar el proceso de adaptación de los técnicos españoles a este sistema de medida, que es el legalmente vigente.

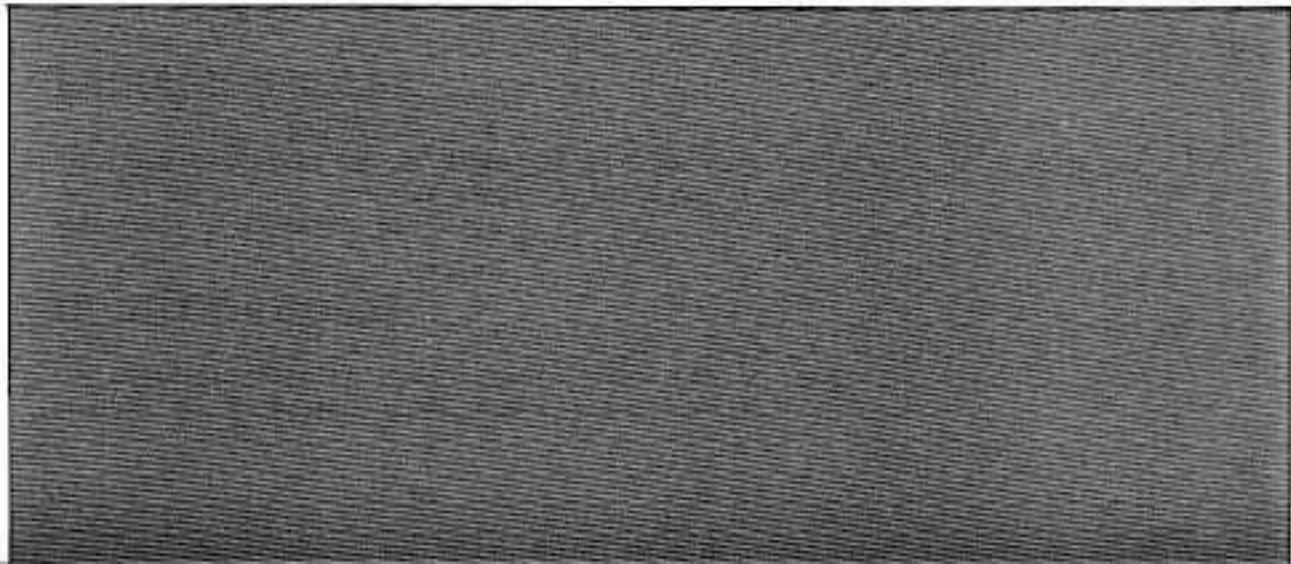
Asimismo, se utiliza la notación exponencial (E_n ó $E-n$) como equivalente a 10^n y a 10^{-n} respectivamente, de acuerdo con los más modernos sistemas de representación numérica.

Finalmente, conscientes de la importancia que ha adquirido la Informática, se ofrecen al alumno listados de programas escritos en lenguaje BASIC, que consideramos de suma utilidad. Estos programas han sido escritos en un BASIC estándar Microsoft, tipo G BASIC, QW BASIC, M BASIC, etc. de manera que sean adaptables, en muchos casos sin cambiar un ápice del listado, a la mayor parte de los ordenadores personales.

CTE



LECCIÓN 1





OBJETIVOS GENERALES

Conocer los sistemas y unidades físicas existentes, y aprender a realizar la conversión de uno a otro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el origen y evolución de las unidades de medida.
- Estudiar el Sistema Internacional (SI) de unidades de medida: unidades fundamentales y derivadas.
- Reconocer las unidades del Sistema anglosajón y su equivalencia con el Sistema Internacional.
- Aprender otras unidades de medida que todavía se utilizan aunque no pertenecen al SI.
- Convertir unidades de un sistema a otro.

1. UNIDADES FÍSICAS

INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente Curso de Energía Solar precisaremos, en muchas ocasiones, efectuar mediciones o cálculos de diversas magnitudes: longitudes, superficies, temperaturas, presiones, etc. En consecuencia, habremos de conocer con precisión las unidades en que expresaremos estas magnitudes y su significado físico.

En esta primera lección se expondrán buena parte de las unidades físicas que aparecerán a lo largo de este Curso, siendo por ello necesario su conocimiento por parte del alumno.

DEFINICIONES DE CARÁCTER GENERAL

Dado que a lo largo del presente Curso de Energía Solar usaremos muy a menudo estas cuatro definiciones, consideramos muy útil el tener unas ideas muy claras de su significado desde el primer momento.

ENERGÍA SOLAR

El concepto de **Energía Solar**, en el sentido usual del término, se refiere al **aprovechamiento energético** en forma **térmica** o **fotovoltaica** de la energía que proviene del Sol.

RADIACIÓN SOLAR:

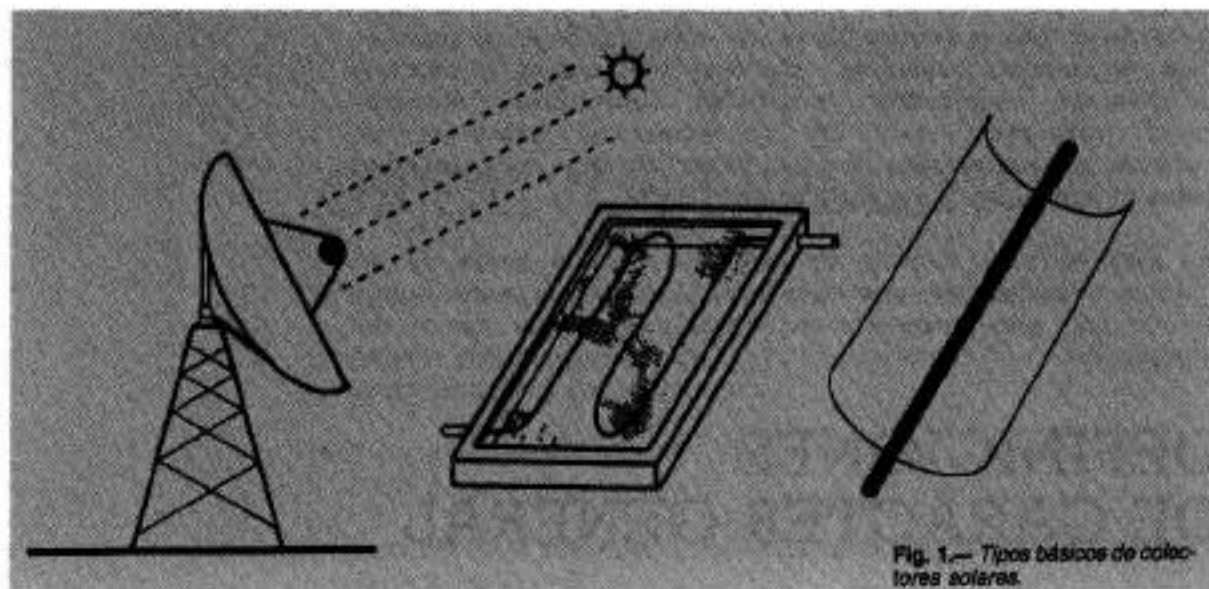
La **radiación solar** es el **flujo** de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas (luz visible, infrarrojo y ultravioleta).

COLECTOR SOLAR:

Un **colector solar** es todo aparato destinado a captar la energía de radiación solar, para transformarla, en otra

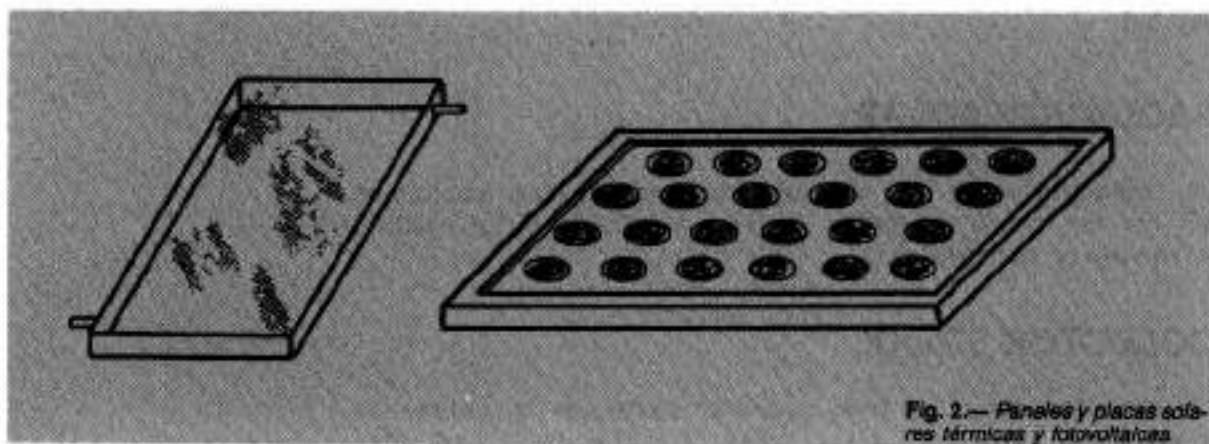


forma de energía útil (generalmente térmica o eléctrica). Los colectores solares pueden ser de **cualquier forma, disposición interna, tipo, etc.** (planos cóncavos, parabólicos, fotovoltaicos, formar parte de un edificio, etc.) (Fig.1)



PANEL (O PLACA) SOLAR

Un **panel (o placa solar)** es un colector solar plano que puede moverse, cambiarse de sitio, etc. sin afectar a sus propiedades intrínsecas. Los paneles o placas solares pueden ser térmicos o fotovoltaicos y se caracterizan por su reducido grosor (generalmente menos de 10 cm.) (Fig.2)





EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES DE MEDIDA (SI)

En todas las civilizaciones, el hombre ha utilizado unidades de medida para medir longitudes, pesos, volúmenes y superficies. Estas unidades estaban especialmente relacionadas con finalidades prácticas y comerciales, tales como la compra-venta de grano, vino, aceite, medición de terrenos, etc.

En estas circunstancias, cada civilización disponía de su sistema particular de unidades de medida, en los que evidentemente no tenía un interés especial el obtener precisiones elevadas. De esta forma se fueron desarrollando sistemas de medidas locales, basados en criterios más o menos racionales. Ejemplos de algunas unidades de este tipo que todavía se utilizan en algunas áreas rurales de España son: La vara como unidad de longitud (unos 80 cm.), la arroba, como unidad de peso (11.5 Kg) o de volumen (16 l.), la obrada, superficie de terreno que podía labrar un hombre con un caballo y un arado romano, etc.

Es evidente que, en el mundo moderno, la presencia de múltiples sistemas de medida haría muy difícil la comunicación científica entre habitantes de diversas zonas del planeta. Es por ello que en el siglo XVIII empezó a tomar cuerpo la idea de disponer de un sistema único de unidades de medida, que fuera lo suficientemente práctico y sencillo para su aplicación generalizada. La Revolución Francesa (1789) impulsó notablemente el proyecto y así, en el año 1792, se procedió a realizar una medición de un arco de meridiano terrestre entre Dunkerque y Barcelona. Con esta y otras mediciones se eligió una unidad de longitud llamada metro, que se hizo igual a $1/10.000.000$ de cuadrante meridiano terrestre. A partir del metro se obtuvo la unidad de masa (gramo), la de capacidad (litro) que, junto con el segundo astronómico, sirvieron para definir un gran número de unidades de medida derivadas.

La aparición de nuevos fenómenos, como la electricidad, hizo indispensable la incorporación de nuevas unidades.

Por otra parte, a veces las unidades elegidas eran demasiado grandes o demasiado pequeñas para lo que se tenía que medir. Esto propició la aparición de sistemas de medida tales como el Cegesimal, el Giorgi y el Técnico, que, basándose en la definición de metro, intentaron corregir algunos de sus defectos. En realidad, lo que se consiguió fue una mayor confusión generalizando la aparición de nuevas unidades como el tristemente célebre Kilopondio, etc.

Por otra parte, Gran Bretaña, Estados Unidos y sus países de influencia siguieron utilizando sus propias unidades de medida (millas, yardas, pies, pulgadas, etc.) La situación de confusión llegó a tal punto que se hizo necesaria una revisión de todo el sistema de unidades de medida, mediante una Conferencia Internacional que tuvo lugar en París en el año 1960, y que prosiguió en años sucesivos, dando lugar al llamado **Sistema Internacional** (abreviadamente **SI**, al que se han adherido la totalidad de los países del mundo, incluidos los anglosajones. España se adhirió al Sistema Internacional por Ley del 7 de noviembre de 1967, y ello significa que deben ponerse en unidades del Sistema Internacional todos cuantos trabajos, proyectos, planos, libros de texto, etc. se produzcan en España.

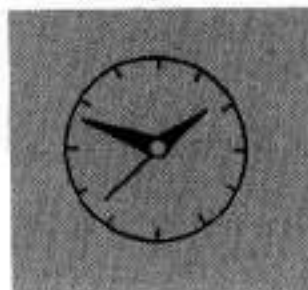
No obstante, el uso habitual y la inercia propia del sistema hacen que algunas unidades como la caloría, la atmósfera, etc. se resistan a desaparecer y sean todavía ampliamente usadas. En consecuencia, nosotros necesitaremos conocer su valor y equivalencia en las correspondientes unidades del Sistema Internacional.

UNIDADES FUNDAMENTALES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

El Sistema Internacional consta de 9 unidades fundamentales que son las siguientes:

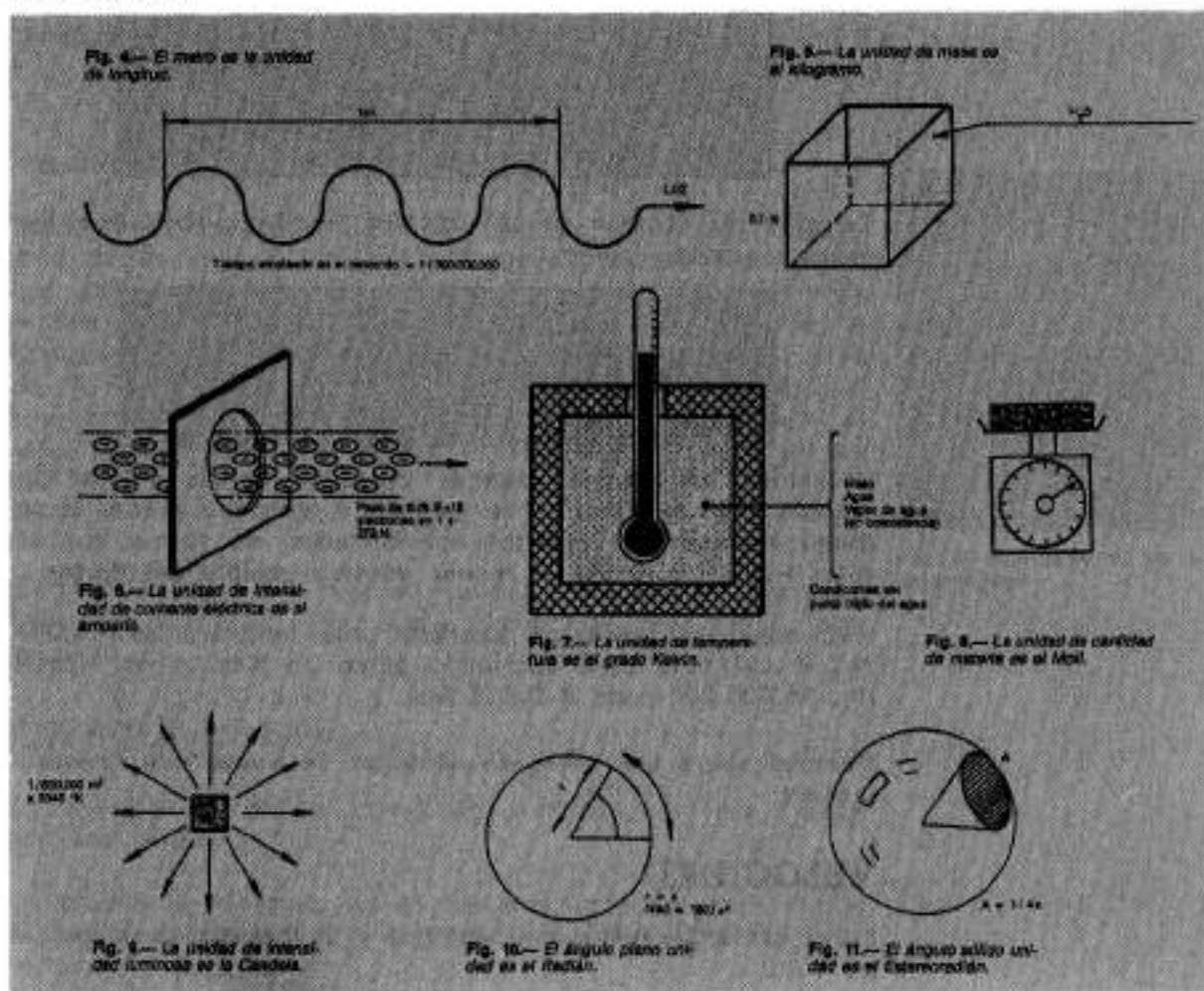
- SEGUNDO (s) Unidad de tiempo. (Fig.3)
- METRO (m) Unidad de longitud. (Fig.4)
- KILOGRAMO (Kg) Unidad de masa. (Fig.5)
- AMPERIO (A) Unidad de intensidad de corriente eléctrica. (Fig. 6)

Fig. 3.— La unidad de tiempo en el S.I. es el segundo.



- GRADO KELVIN ($^{\circ}\text{K}$) Unidad de temperatura. (Fig.7)
- MOL (mol) Unidad de cantidad de materia. (Fig.8)
- CANDELA (Cd) Unidad de intensidad luminosa. (Fig.9)
- RADIAN (rad) Unidad de ángulo plano. (Fig.10)
- ESTERORADIAN (str rad) Unidad de ángulo sólido. (Fig.11)

Las definiciones de estas unidades se dan al final de esta lección.



UNIDADES DERIVADAS

De las unidades fundamentales se originan otras unidades llamadas derivadas.

En el Sistema Internacional, las unidades derivadas se obtienen formando combinaciones de las unidades fundamentales en la **relación 1 a 1**. Ello simplifica notablemente los cálculos, pero a veces conduce a unidades muy grandes o muy pequeñas. En estos casos se debe anteponer un **prefijo**. Los prefijos **normalizados** aumentan o disminuyen de 3 en 3 órdenes de magnitud, y los más usuales son los siguientes:

- p pico	=	E-12	=	1/1 000 000 000 000
- n nano	=	E-9	=	1/1 000 000 000
- µ micro	=	E-6	=	1/1 000 000
- m mil	=	E-3	=	1/1 000
- K Kilo	=	E3	=	1 000
- M Mega	=	E6	=	1 000 000
- G Giga	=	E9	=	1 000 000 000
- T Tera	=	E12	=	1 000 000 000 000

También se utilizan en la práctica habitual otros prefijos no normalizados como:

- c cent	=	E-2	=	1/100
- d dec	=	E-1	=	1/10
- D Deca	=	E1	=	10
- H Hecto	=	E2	=	100

Usaremos los prefijos cuando el valor de la unidad de medida sea excesivamente grande o pequeño, procurando **elegir siempre los prefijos normalizados**, de forma que el valor numérico tenga el menor número posible de dígitos.

Así, pues, si deseamos expresar una longitud de 15.000 m., lo correcto será escribirlo como 15 Km. y no 15.000 m., 15.000.000 mm. ó 0.015 Mm.

Veamos ahora una serie de unidades derivadas que revisten interés:

VELOCIDAD

Es el cociente entre una longitud y un tiempo. Se expresa en m/s.

ACELERACIÓN

Es el valor en que varía la velocidad en cada unidad de tiempo. Se expresa en m/s². Así, un cuerpo que aumente

su velocidad en 3 m/s cada segundo de tiempo que transcurre, tendrá una aceleración de 3 m/s².

La aceleración de la **gravedad terrestre** vale 9.81 m/s². Ello quiere decir que un objeto dejado caer libremente partiendo del reposo aumenta su velocidad en 9.81 m/s por cada segundo que dura su caída libre.

FUERZA

Es el producto de una masa por una aceleración. En el sistema Internacional, esta unidad recibe el nombre de **Newton (N)**.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg.} \times 1 \text{ m/s}^2$$

Veamos cuál es la magnitud de 1 N.

Supongamos una masa de 1 K. (unidad de masa), suspendida de un muelle vertical. El muelle ejerce una fuerza que en ausencia de la masa lo situaría en el estado de reposo. La masa está sometida a la aceleración de la gravedad; en consecuencia el muelle realiza una fuerza de: $F = 1 \text{ Kg.} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ N}$. Si deseamos que el muelle realice una fuerza de 1 N., deberemos reducir el valor de la masa, puesto que la aceleración de la gravedad es invariable. El valor de esta masa será de: $m = 1 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 0.102 \text{ Kg.}$ (Fig.12)

Por lo tanto, 1 N. es la fuerza con que la gravedad terrestre atrae a una masa de 0.102 Kg. (102 gramos).

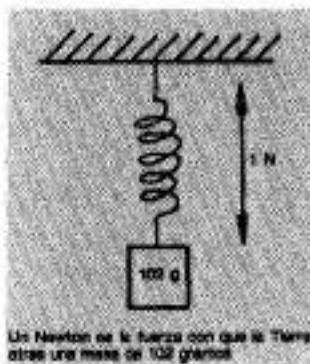
ENERGÍA (Trabajo)

La energía se define como el producto de una fuerza por una longitud.

La unidad de energía en el Sistema Internacional recibe el nombre de Julio (J) y expresa la capacidad de realizar un trabajo útil.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m.}$$

El Julio es una unidad pequeña, por lo que se suele usar en su lugar el Kilojulio.



Un Newton es la fuerza con que la Tierra atrae una masa de 102 gramos.

Fig. 12.— La unidad de fuerza es el Newton.



POTENCIA

La **potencia** es el cociente entre el valor de la energía y el tiempo en que ha actuado esta energía. Esta unidad, es el Sistema Internacional, recibe el nombre de **watio** (W).

$$1 \text{ W.} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ S}}$$

La potencia expresa la capacidad de suministrar una energía en un tiempo determinado. Así, para levantar una masa a una cierta altura, se precisa una cierta cantidad de energía, que es exactamente la misma si se levanta poco a poco o rápidamente. La potencia es mayor en el caso de levantarlo rápidamente (en el menor tiempo posible).

CALOR ESPECÍFICO

Al suministrar la misma cantidad de energía en forma de calor a la misma cantidad de masa de distintos cuerpos (por ejemplo, a 1 Kg. de agua y a 1 Kg. de aceite), se observa que alcanzan temperaturas diferentes. El **calor específico** expresa la cantidad de energía necesaria para elevar en 1 °K la temperatura de 1 Kg. de masa del material que estemos tratando. El calor específico se mide en J/Kg °K.

PRESIÓN

La **presión** se define como el cociente entre una fuerza y la superficie sobre la que actúa. La unidad de presión en el Sistema Internacional es el **Pascal** (P).

$$1 \text{ P} = 1 \text{ N} / 1 \text{ m}^2$$

El Pascal es una unidad pequeña. Generalmente se emplea el MP.

POTENCIAL ELÉCTRICO

La unidad de potencial eléctrico es el voltio, que se define como el cociente de una energía de 1 julio dividida por una intensidad de 1 amperio y por 1 segundo.

El voltio se expresa del siguiente modo:



$$\text{Voltio} = \frac{\text{Julio}}{\text{Amperio} \times \text{seg.}} = \frac{\text{Watio}}{\text{Amperio}}$$

La segunda expresión (cociente entre la potencia y la intensidad) es la generalmente usada para todo tipo de cálculos eléctricos.

UNIDADES NO ANGLOSAJONAS QUE NO PERTENECEN AL SISTEMA INTERNACIONAL

Desgraciadamente, son de uso muy frecuente aún hoy día una serie de unidades no aglosajonas que no pertenecen al Sistema Internacional y con las que continuamente nos estamos relacionando. Por esta razón es de sumo interés conocerlas a fin de poderlas transformar en unidades del Sistema Internacional.

GRADO CELSIUS (CENTÍGRADO)

Esta unidad de temperatura es igual al grado Kelvin 1° C = 1° K. La diferencia entre las dos escalas de temperatura reside en el punto de origen. Mientras que la escala Celsius o centígrada toma su origen en el punto de fusión del hielo, la escala Kelvin lo toma en el cero absoluto de temperaturas, que es la temperatura mínima que puede obtenerse y que corresponde a -273.16° C.

Por esta razón, en las expresiones en que intervienen **diferencias de temperatura**, es indiferente colocar la temperatura en grados Celsius o Kelvin. Por ello no es de extrañar que a lo largo de este Curso se utilicen indistintamente los grados Celsius (Centígrados) y los Kelvin.

En general, los grados Celsius se utilizan para mediciones relativas, tales como temperatura ambiental, de entrada y salida de fluidos, etc., reservándose los grados Kelvin para el uso de medidas de temperatura absoluta, como la de la radiación solar y otras.



CALORÍA

La caloría es la antigua definición métrica de energía.

Una caloría es la energía necesaria para elevar 1° C la temperatura de 1 gr de agua de 15 a 16° C. (El calor específico del agua varía con la temperatura). Como es una unidad pequeña, generalmente se usa su múltiplo la Kilocaloría, que es 1000 veces mayor.

Una caloría es igual a 4.18 Julios y una Kilocaloría es igual a 4180 Julios.

KILOWATIO x HORA

El Kilowatio x hora es una unidad de energía y representa la energía desarrollada por una potencia de 1000 W durante 1 hora. Es la unidad usual de medición de energía en sistemas eléctricos. Esta unidad no es del Sistema Internacional por el hecho de que la hora no pertenece a dicho sistema de unidades de medida.

Un kilowatio x hora es igual a 3.6 E6 Julios = 1000 W x 3600 sg/h.

CALORÍAS/HORA

La caloría/hora es una unidad de potencia equivalente al suministro de una energía durante una hora. Se suele emplear en medidas de potencia de calefacción, si bien se prefiere el uso de la kilocaloría/hora.

Una caloría/hora es igual a $1,16 \text{ E-3}$ vatios y una kilocaloría/hora es igual a 1,16 vatios.

$$1 \text{ Kilocaloría/hora} = \frac{4.180 \text{ J}}{3.600 \text{ sg/h}} = 1,16 \text{ W}$$

NOTA.- Obsérvese la diferencia entre el kilowatio x hora (kilowatio **multiplicado** por hora) = Energía y la kilocaloría/hora (kilocaloría **dividido** por hora) = Potencia.

CABALLOS DE VAPOR

Esta unidad se escogió para poder medir la **potencia** de máquinas de vapor y posteriormente se aplicó a otras máquinas, y se hizo igual a la potencia habitual que podía desarrollar un caballo (de ahí su nombre de caballo de vapor, abreviadamente CV o HP)

El valor escogido de la potencia de un caballo fue el de levantar una masa de 75 Kg. a la altura de un metro en un segundo.

Levantar 75 Kg representa realizar una fuerza de $75 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 736 \text{ J}$, que realizada en un espacio de 1 s representa 736 vatios.

$$1 \text{ CV} = \frac{736 \text{ J}}{\text{s}} = 736 \text{ W}$$

KILO-FUERZA

Esta unidad de fuerza es simplemente la fuerza con que la gravedad terrestre atrae hacia sí a una masa de 1 Kg.

$$1 \text{ Kg - fuerza} = 1 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$$

BAR

Esta es la unidad de **presión**, resultante de dividir una



fuerza expresada en kilos-fuerza por una superficie, en este caso 1 cm².

$$1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ Kg-fuerza}}{1 \text{ cm}^2} = \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ E-4 m}^2} = 981 \text{ KP}$$

Es igual a la presión que ejerce la fuerza con que la Tierra atrae una masa de 1 Kg repartida en una superficie de 1 cm².

ATMÓSFERA

Es también la unidad de presión, que se tomó como el peso que ejercía una columna de mercurio de 760 mm. de altura (presión atmosférica normal al nivel del mar). Sabiendo que la densidad del mercurio es de 13.6 g/cm³, esta unidad vale:

$$\begin{aligned} \frac{13.6 \text{ g/cm}^3 \times 76 \text{ cm}}{1 \text{ cm}^2} &= 1034 \text{ g-fuerza} = 1034 \text{ bar} \\ &= \frac{1.034 \text{ Kg/cm}^2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}{1 \text{ E-4 m}^2/\text{cm}^2} = 1.014 \text{ E 5 Pascal} \end{aligned}$$

UNIDADES ANGLOSAJONAS

Damos a continuación las equivalencias de unidades anglosajonas de uso corriente. Las definiciones de longitud, masa, energía, potencia, etc. son las mismas, evidentemente, que para las del Sistema Internacional.

LONGITUD:

1 Pulgada	=	25.4 mm
1 Pie	=	0.3048 m
1 Yarda	=	0.9144 m
1 Mila	=	1.6093 Km

VOLUMEN:

1 pie cúbico	=	28.3168 litros
1 galón	=	3.78544 litros

**MASA:**

1 onza = 28.3495 g
1 libra = 0.453492 Kg

TEMPERATURA:

1° F = 9/5 (°C + 32) (Grado Fahrenheit)

ENERGÍA:

1 BUT = 1.05506 KJ (Unidad Térmica Británica)

POTENCIA:

1 BTU/h = 0.29307 W

PRESIÓN:

1 PSI = 6.89 E3 Pascal (libra por pulgada cuadrada)

DEFINICIONES DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES SI.

SEGUNDO:(s) Tiempo. Es el tiempo correspondiente a 9.192.631.770 ciclos de resonancia de isótopo Cesio-133.

METRO: (m) Longitud. Es la longitud recorrida por una onda electromagnética durante un tiempo de 1/299792458 segundos.

KILOGRAMO: (Kg) Masa. Cantidad de materia sometida a la fuerza de 1 N sufre una aceleración de 1 m/s².

AMPERIO: (A) Intensidad de corriente eléctrica. Que corresponde al paso de 6.25 E + 18 electrones por un conductor en 1 segundo.

GRADO KELVIN: (°K) Temperatura. Es el equivalente a 1/273.16 de la temperatura absoluta del punto triple del agua.

Los grados de los ángulos se miden en sistema sexagesimal (como las horas, minutos y segundos de tiempo). En ese sistema 1 grado = 60'; en cambio, cuando medimos en el sistema decimal (como sucede cuando se trata de grados de temperatura o grados Centígrados), 1 grado = 100 centésimas de grado. Cualquier magnitud sexagesimal puede expresarse en valor decimal. Por ello, si decimos que son las 10 horas y 15 minutos, y queremos expresarlo en términos decimales, lo reflejaremos como 10.25 (vea que 25 centésimas es la cuarta parte de una unidad, como 15 minutos son la cuarta parte de una hora; y por eso se dice que son las 10 y cuarto). Para pasar de fracciones decimales a minutos, habrá de multiplicarse dicho valor por 60; para referir los minutos (sean de grados o de tiempo) al sistema decimal, dividiremos dicha cifra por 60. Ejemplos:

5 horas 45 minutos = 5.75 horas
(45/60 = 0.75)

8.20 grados angulares = 8° 12'
(0.20 x 60 = 12)



MOL: (mol) Número de átomos. Existentes en 0,012 Kg del isótopo carbono 12 $\approx 6.02 \text{ E} + 23$.

CANDELA: (Cd) Intensidad luminosa. Producida por una superficie de $1/600000$ de m^2 de cuerpo negro a una temperatura de 2045° K.

RADIAN: (rad) Angulo plano. Correspondiente a $180/\pi$ grados sexagesimales $\approx 57^\circ 17' 45''$.

ESTERORADIAN: (str rad) Angulo sólido. Que abarca una superficie de esfera igual a $\frac{1}{4\pi}$ de la superficie total.

DATOS DE INTERÉS

CONVERSIÓN DE UNIDADES

Para pasar de izquierda a derecha multiplicar por el factor:

Para pasar de derecha a izquierda dividir por el factor:

		Longitud:
Metro	Pulgada	39.3701
Pulgada	Metro	0.0254
Pie	Metro	0.3048
		Masa:
Kg	Libra	2.2051
Libra	Kg.	0.4535
		Fuerza:
Newton	Kg.- fuerza	0.1019
Kg.- fuerza	Newton	9.81
		Energía:
Julio	Caloría	0.2389
Julio	Kwh	2.77 E-7
Julio	BTU	9.48 E-4
Caloría	Julio	4.185
Caloría	Kwh	1.16 E-6
Caloría	BTU	3.97 E-3

Kwh	Julio	3.6 E6
Kwh	Caloría	8.60 E5
Kwh	BTU	3412
BTU	Julio	1055
BTU	Caloría	252
BTU	Kwh	2.93 E-4

Potencia:

Watio	Caloría/h	862
Watio	CV	1.36 E-3
Watio	BTU/h	3.4112
Caloría/h	Watio	1.16 E-3
Caloría/h	CV	1.58 E-6
Caloría/h	BTU/h	3.97 E-3
CV	Watio	736
CV	Caloría/h	6.34 E5
CV	BTU/h	2.51 E3
BTU/h	Watio	0.2931
BTU/h	Caloría/h	252
BTU/h	CV	3.99 E-4

Presión:

Pascal	Bar	
	(Kg-fuerza/cm ²)	1.02 E-5
Pascal	Atmósfera	9.86 E-6
Pascal	PSI	1.45 E-4
Bar	Pascal	9.81 E4
Bar	Atmósfera	0.967
Bar	PSI	14.225
Atmósfera	Pascal	1.014 E5
Atmósfera	Bar	1.034
Atmósfera	PSI	14.708
PSI	Pascal	6.89 E3
PSI	Bar	0.0703
PSI	Atmósfera	0.068

Calor:

Calor específico J/kg	Cal/Kg	} 0.2389
Calor de fusión o evaporación J/kg.	Cal/Kg	
Conductividad térmica W/m°C	Cal/seg.°C	
Coefficiente K W/°C	J/Kg °C	
Calor específico Cal/Kg°C		



Poder calorífico Cal/Kg	J/Kg	} 4.185
Calor de fusión o		
evaporación Cal/Kg	J/Kg	
Conductividad térmica Cal/seg m °C	W/°C	
Coefficiente K Cal/seg °C		
Tiempo:		
Segundo	Horas	2.77 E-4
Horas	Segundos	3600
°F	°C ó °K	0.5556
Temperatura:		
°C ó °K	°F	1.8
°F	°C ó °K	0.5556

Ejemplo: ¿Cuántos julios son 13.5 Kwh?

Buscamos la conversión Kwh → julios y obtenemos el valor de 3.6 E6.

El número de julios será de:

$$13.5 \text{ Kwh} \times 3.6 \text{ E6 J/Kwh} = 4.86 \text{ E7 J}$$

B) PROGRAMA PARA CONVERSIÓN DE UNIDADES

```

10 'PROGRAMA DE CONVERSION DE UNIDADES
11
12 dim var$(5)
13 dim var(5)
14 dim uni$(5)
100 key off
110 cls
115 print "#####"
116 print "CONVERSION DE UNIDADES"
117 print "#####"
118 print
120 print "1 - LONGITUD"
130 print "2 - SUPERFICIE"
140 print "3 - VOLUMEN"

```

```

150 print "4 - MASA"
160 print "5 - DENSIDAD"
170 print "6 - FUERZA"
180 print "7 - PRESION"
190 print "8 - VELOCIDAD"
200 print "9 - POTENCIA"
210 print "0 - FINALIZAR"
220 locate 23, 1
230 input "Elija una opción: "; opc
240 if opc > 9 then goto 220
241 if opc = 0 then end          ' Final del programa
250 on opc gosub 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000
260 goto 100
1000 '#####
1001 'LONGITUD
1002 '#####
1010 cls
1020 nombre$ = "LONGITUD"
1021 gosub 20000                ' Mensaje común
1030 input "Entre los m: "; var$(1)
1040 input "Entre las in: "; var$(2)
1050 input "Entre los ft: "; var$(3)
1055 var(1) = 1; var(2) = 39.3701; var(3) = 3.2808
1056 uni$(1) = "m"; uni$(2) = "in"; uni$(3) = "ft"
1057 ntuni = 3
1060 gosub 25000                ' Resultado
1090 return
2000 '#####
2001 'SUPERFICIE
2002 '#####
2010 cls
2020 nombre$ = "SUPERFICIE"
2021 gosub 20000                ' Mensaje común
2030 input "Entre los a2: "; var$(1)
2040 input "Entre las in2: "; var$(2)
2050 input "Entre los ft2: "; var$(3)
2055 var(1) = 1; var(2) = 1550; var(3) = 10.7639
2056 uni$(1) = "a2"; uni$(2) = "in2"; uni$(3) = "ft2"
2057 ntuni = 3
2060 gosub 25000                ' Resultado
2090 return
3000 '#####
3001 'VOLUMEN
3002 '#####
3010 cls
3020 nombre$ = "VOLUMEN"
3021 gosub 20000                ' Mensaje común
3030 input "Entre los a3: "; var$(1)

```

```

3040 input "Entre las in3: ", var$(2)
3050 input "Entre los ft3: "; var$(3)
3055 var(1) = 1: var(2) = 61023.74: var(3) = 35.31467
3056 uni$(1) = "m3": uni$(2) = "in3": uni$(3) = "ft3"
3057 ntuni = 3
3060 gosub 25000 'Resultado
3090 return
4000 '####
4001 'MASA
4002 '####
4010 cls
4020 nombre$ = "MASA"
4021 gosub 20000 'Mensaje común
4030 input "Entre los Kg: ", var$(1)
4040 input "Entre las lb: ", var$(2)
4050 input "Entre las oz: "; var$(3)
4055 var(1) = 1: var(2) = 2.20462: var(3) = 35.2740
4056 uni$(1) = "Kg": uni$(2) = "lb": uni$(3) = "oz"
4057 ntuni = 3
4060 gosub 25000 'Resultado
4090 return
5000 '#####
5001 'DENSIDAD
5002 '#####
5010 cls
5020 nombre$ = "DENSIDAD"
5021 gosub 20000 'Mensaje común
5030 input "Entre los Kg / m3: ", var$(1)
5040 input "Entre las lb / ft3: ", var$(2)
5055 var(1) = 1: var(2) = 0.062428
5056 uni$(1) = "Kg/m3": uni$(2) = "lb/ft3"
5057 ntuni = 2
5060 gosub 25000 'Resultado
5090 return
6000 '####
6001 'FUERZA
6002 '####
6010 cls
6020 nombre$ = "FUERZA"
6021 gosub 20000 'Mensaje común
6030 input "Entre los N: ", var$(1)
6040 input "Entre los Kgfs: ", var$(2)
6050 input "Entre las lbf: "; var$(3)
6055 var(1) = 1: var(2) = 0.102: var(3) = 0.224809
6056 uni$(1) = "N": uni$(2) = "Kgfs": uni$(3) = "lbf"
6057 ntuni = 3
6060 gosub 25000 'Resultado
6090 return

```

```

7000 *****
7001 PRESION
7002 *****
7010 cls
7020 nombre$ = "PRESION"
7021 gosub 20000 ' Mensaje común
7030 input "Entre los kPa: ", var$(1)
7040 input "Entre los kgf/m2: ", var$(2)
7050 input "Entre las lbf/ft2: "; var$(3)
7051 input "Entre las lbf/in2: "; var$(4)
7052 input "Entre las atm: "; var$(5)
7055 var(1) = 1: var(2) = 102: var(3) = 20.6854
7056 var(4) = 0.145038: var(5) = 0.009869
7057 uni$(1) = "kPa": uni$(2) = "kgf/m2": uni$(3) = "lbf/ft2"
7058 uni$(4) = "lbf / in2": uni$(5) = "atm"
7059 ntuni = 5
7060 gosub 25000 ' Resultado
7070 return
8000 *****
8011 VELOCIDAD
8012 *****
8013 cls
8020 nombre$ = "VELOCIDAD"
8021 gosub 20000 ' Mensaje común
8030 input "Entre los m/s: ", var$(1)
8040 input "Entre los km/h: ", var$(2)
8050 input "Entre las ft/s: "; var$(3)
8051 input "Entre las mill/h: "; var$(4)
8055 var(1) = 1: var(2) = 2.64: var(3) = 3.28084: var(4) = 2.23694
8056 uni$(1) = "m/s": uni$(2) = "km/h": uni$(3) = "ft/s": uni$(4) = "mi/h"
8057 ntuni = 4
8060 gosub 25000 ' Resultado
8070 return
9000 *****
9011 POTENCIA
9012 *****
9013 cls
9020 nombre$ = "POTENCIA"
9021 gosub 20000 ' Mensaje común
9030 input "Entre los W: ", var$(1)
9040 input "Entre los hp: ", var$(2)
9050 input "Entre los BTU/h: "; var$(3)
9055 var(1) = 1: var(2) = 0.0013410: var(3) = 3.41214
9056 uni$(1) = "W": uni$(2) = "hp": uni$(3) = "BTU/h"
9057 ntuni = 3
9060 gosub 25000 ' Resultado
9070 return
23000 *****

```

```

20001 'Saca la cabecera comdn
20002 '#####
20003 print "UNIDADES DE " & nombre$
20004 print
20005 print "Entre el valor que desea convertir, y"
20010 print "conteste con un 't' en la unidad deseada."
20020 print
20030 return

25000 '#####
25002 'Calcula el resultado
25005 '#####
25010 cn1 = 0
25015 cn2 = 0
25020 for n = 1 to ntuni
25022   if var$(n) = "t" or var$(n) = "T" then goto 25030
25025   cn1 = cn1 + 1
25026   pos1 = n                               Primera unidad
25030   if var$(n) <> "t" then goto 25031
25040   cn2 = cn2 + 1
25050   pos2 = n                               Segunda unidad
25051 next
25061 if cn1 > 1 or cn1 = 0 then resultado$ = "ERROR ": goto 25085
25062 if cn2 > 1 or cn2 = 0 then resultado$ = "ERROR ": goto 25085
25063 v1# = val(var$(pos1))                    'Corresponde al valor a convertir
25064 v2# = var$(pos1)
25065 v3# = var$(pos2)
25066 resul# = (v1# * v1#) / v2#
25067 resul# = int(resul# * 1000) / 1000
25070 resultado$ = var$(pos1) + " " + uni$(pos1) + " equivale a "
25080 resultado$ = resultado$ + str$(resul#) + " " + uni$(pos2)
25085 print
25090 print resultado$
25091 print
25100 gosub 26000                             'Espera tecla
25410 return

26000 '#####
26005 'Rutina de espera de tecla
26006 '#####
26010 print "Pulse cualquier tecla para continuar:"
26012 a$ = ""
26020 while a$ = ""
26030   a$ = inkey$
26040 wend
26050 return

```



RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- Un colector solar capta la energía procedente del sol (energía solar), y la transforma en energía térmica o eléctrica.
- Las placas o paneles solares son colectores planos que pueden trasladarse fácilmente.
- La Revolución Francesa (1789) impulsó la unificación de las unidades de medida, estableciendo el metro como unidad de longitud, el gramo como unidad de masa y el litro como unidad de capacidad.
- En 1960 se celebró una Conferencia Internacional para revisar todo el sistema de unidades de medida. Así nació el Sistema Internacional (SI) que estableció una relación de unidades de medida a nivel mundial a la que se han adscrito todos los países del mundo. Sin embargo, aún se continúan utilizando por costumbre algunas unidades que no pertenecen al SI, como la kilocaloría y la atmósfera. Igualmente, los países anglosajones conservan su sistema tradicional con unidades propias como la pulgada y la milla.
- Las unidades del Sistema Internacional se dividen en fundamentales y derivadas. Las unidades fundamentales del SI son: metro, kilogramo, amperio, segundo, grado Kelvin, mol, candela, radián y estereoradián. Entre las unidades derivadas encontramos: Newton, julio, watio, Pascal, voltio, etc.
- Para evitar cantidades muy grandes o bien muy pequeñas se utilizan los prefijos normalizados, como kilo, mega, micro o giga.



AUTOEVALUACIÓN DE LA LECCIÓN 1

1. El kilogramo es una unidad ...
 - a) Derivada del sistema internacional.
 - b) Fundamental del sistema internacional.
 - c) Anglosajona.
 - d) De longitud.

2. ¿Cuáles de las siguientes unidades son derivadas?
 - a) Metro, amperio, radián y mol.
 - b) Libra, yarda, galón y milla.
 - c) Grados Centígrados, calorías y caballos de vapor.
 - d) Pascal, voltio, watio y Newton.

3. ¿Qué es la radiación solar?
 - a) El flujo de energía proveniente del sol.
 - b) Una placa solar.
 - c) Una unidad que mide la intensidad luminosa.
 - d) Una unidad que mide el potencial eléctrico.

4. El julio mide...
 - a) La presión.
 - b) La energía.
 - c) La masa.
 - d) La potencia.

5. Utilizamos prefijos normalizados al trabajar con unidades para...
 - a) Aumentar el número de dígitos del valor numérico.
 - b) Indicar que es una unidad anglosajona.
 - c) Disminuir el número de dígitos.
 - d) Ya no se utilizan.



6. El caudal y el desnivel son factores determinantes en la obtención de...
- a) Energía eólica.
 - b) Energía hidráulica.
 - c) Petróleo.
 - d) Gas.
7. Elija las variedades del carbón:
- a) Metano, etano, propano y butano.
 - b) Antracita, hulla, lignito y turba.
 - c) Gasolina, gasóleo, fuel y alquitrán.
 - d) Uranio, plutonio y torio.
8. Los movimientos sísmicos, la actividad volcánica y los géiseres son originados por...
- a) El oleaje y las corrientes marinas.
 - b) Las mareas.
 - c) El gradiente térmico marino.
 - d) La energía geotérmica.
9. ¿Cuáles son las dos energías más abundantes en España?
- a) La hidráulica y la solar.
 - b) La solar y la eólica.
 - c) La hidráulica y el carbón.
 - d) El gas natural y la biomasa.
10. ¿Cuál es la unidad de producción del petróleo?
- a) Termia.
 - b) Tonelada.
 - c) Barril.
 - d) Litro.

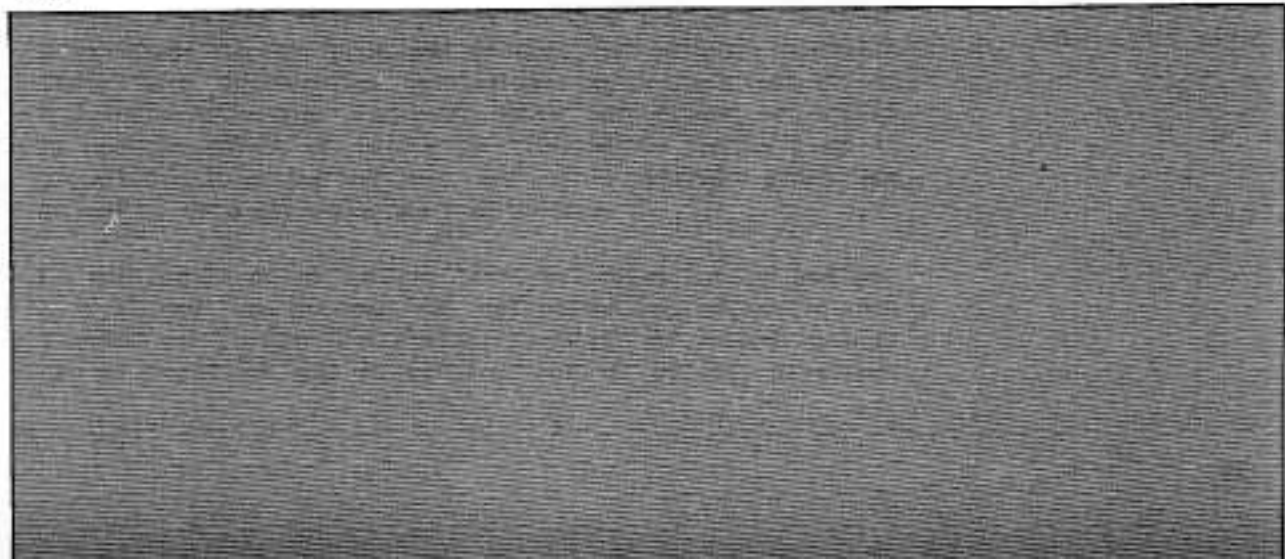


SOLUCIONES AL EJERCICIO AUTOEVALUABLE DE LA LECCIÓN 1

1. Respuesta b). El kilogramo es una unidad fundamental, no derivada. Perteneció al Sistema Internacional, no al anglosajón, y es una unidad de masa, no de longitud.
2. Respuesta d). Las unidades de la opción a) son todas fundamentales, las de la opción b) son unidades anglosajonas y las de la c) también quedan descartadas, ya que no pertenecen al S.I.
3. Respuesta a). Efectivamente, cuando hablamos de radiación solar nos estamos refiriendo a la energía que nos llega procedente del sol. Captaremos esta energía con una placa o panel solar.
4. Respuesta b). El julio es una unidad derivada del Sistema Internacional. Por su parte, la presión, la masa y la potencia se miden, respectivamente y según el Sistema Internacional, en pascuales, kilogramos y en vatios.
5. Respuesta c). Los prefijos normalizados son muy útiles para trabajar con unidades muy grandes o muy pequeñas ya que reducen el número de dígitos.
6. Respuesta a). En el Sistema Internacional, la temperatura se mide en grados Kelvin pero, al margen del SI, conviven los grados Kelvin con los grados Celsius (centígrados) utilizándose los primeros en mediciones de temperatura absoluta y los segundos en mediciones relativas de temperatura.
7. Respuesta c). Ni la hora ni el minuto son unidades de tiempo del Sistema Internacional, que ha elegido como tal el segundo. En cuanto al mol, se trata de una unidad de cantidad de materia.
8. Respuesta a). La conversión es de caballos de vapor a vatios. Tras consultar la tabla de conversiones, sabemos que 1 cv son 736 w. Por tanto, 12.4 cv serán: $12.4 \text{ cv} \times 736 \text{ w/cv} = 9126.4 \text{ w}$.
9. Respuesta c). De nuevo una conversión: de calorías a julios. Si 1 cal son 4185 j, para averiguar cuántos julios son 0.124 calorías realizamos la siguiente operación: $0.124 \text{ cal} \times 4185 \text{ j/cal} = 518.94 \text{ julios}$.
10. Respuesta a). Ahora pasamos de bar a pascuales. Ambas son unidades de presión. Si un bar son $9.81 \text{ E}4$ pascuales la solución es la siguiente: $13.7 \text{ bar} \times 9.81 \text{ E}4 \text{ pascuales/bar} = 134.397 \text{ E}4$, que es igual a $1.34397 \text{ E}6$ pascuales (1343970).



LECCIÓN 2





OBJETIVOS GENERALES

Estudiar las energías existentes, su clasificación y rasgos principales.
Analizar la situación energética nacional e internacional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la evolución histórica de las fuentes energéticas repasando las diferentes "Eras".
- Distinguir entre los diferentes tipos de energía existentes, sus características, ventajas y desventajas, posibilidades, aplicaciones e importancia.
- Evaluar, tanto a nivel nacional como internacional, la demanda y la oferta energética.
- Valorar la situación energética actual y, a partir de ella, realizar una previsión de cara al futuro.

2. LA ENERGÍA EN EL MUNDO MODERNO

INTRODUCCIÓN

En esta lección se da en primer lugar una visión histórica del problema de la energía en el mundo. Posteriormente son examinados uno a uno los diferentes tipos de energías, su potencial y sus posibilidades. De esta forma se adquirirá una visión generalizada de la situación energética presente y futura inmediata del planeta Tierra.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

El mundo moderno se mueve con energía. Todo, absolutamente todo, funciona con energía: desde un cohete espacial hasta el vuelo de un mosquito. Sin embargo, es evidente para cualquier persona que hoy el mundo gasta mucha más energía que hace 100 años.

En efecto, desde que existe el Hombre sobre la Tierra hasta finales del siglo XVIII (hace tan sólo unos 200 años), el mundo ha vivido en la llamada **era de la madera**, pues éste era el principal medio energético, utilizable tanto para necesidades domésticas como para las de la incipiente industria. También hasta esa época se utilizó la **energía eólica** en forma de molinos de viento y en la propulsión de embarcaciones, así como **energía hidráulica** en saltos de agua de zonas montañosas.

La utilización de la madera como principal fuente energética supuso un proceso de deforestación, especialmente acusado en Europa Occidental, motivado en buena medida por el hecho de que la construcción de barcos, precisaba



de los mejores árboles, mientras que para otras necesidades era suficiente la leña obtenida de la limpieza anual de los bosques.

Al llegar al siglo XIX, con la invención de la máquina de vapor, el carbón sustituye a la madera como combustible debido a su mayor poder calorífico y se entra en la **era del carbón**, que durará hasta mediados del presente siglo, en la que el carbón es el principal medio energético que hace funcionar barcos, trenes y toda clase de industrias.

No obstante, a finales del siglo pasado dos nuevas fuentes energéticas hacen su aparición en escena. El **petróleo**, del cual se obtiene por destilación un líquido claro inflamable que se utiliza para el alumbrado, y la **electricidad**.

Con la invención del motor de explosión, el petróleo inicia una rápida carrera ascendente, mientras que la electricidad se adueña del alumbrado y de la industria ligera.

A mediados del presente siglo el consumo de petróleo aumentó vertiginosamente, superando al del carbón, entrando la Humanidad en la **era del petróleo**, en la que nos encontramos ahora.

Hacia mediados de los años 50 se produce la introducción de la **energía nuclear de fisión**, aunque su contribución sobre la totalidad de la energía consumida en el mundo es pequeña.

En 1970, las gráficas del consumo energético mundial (Fig.1) se disparan. El mundo cada vez necesita más y

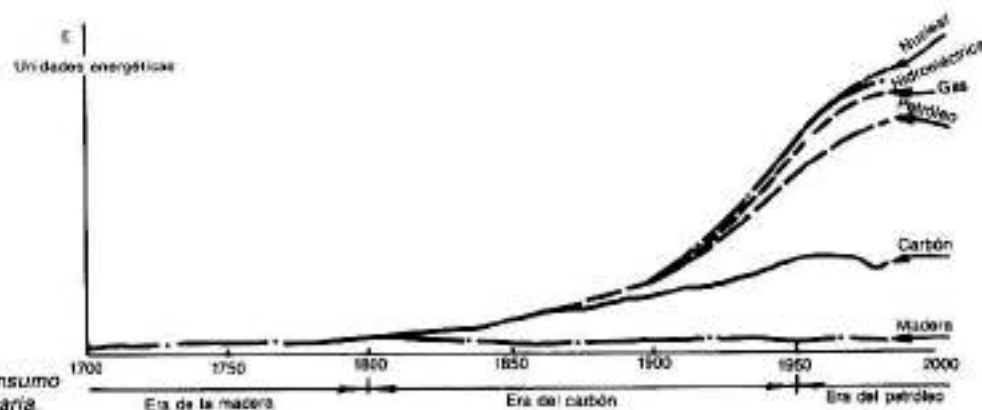


Fig. 1.— Gráfico del consumo mundial de energía primaria.

maís energía y este hecho se ve favorecido por el bajo precio del petróleo que incita a que se consuma y derroche energía innecesariamente. La situación, como todos sabemos, se truncó en el año 1973, cuando los países productores del petróleo decidieron aumentar enormemente el precio del crudo. Entonces el mundo empezó a pensar en otras energías como la solar, eólica, mareas, en cómo ahorrar energía, etc.

IMPORTANCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍA

Las fuentes de energía utilizadas en el mundo pueden clasificarse en:

- Primarias
- Secundarias

Las fuentes de energía primaria son aquellas fuentes energéticas en las que la energía se obtiene directamente del recurso. Un ejemplo claro de energía primaria es el carbón, ya que la energía (calor) la produce aquél directamente en su combustión. Tipos de energía primaria son:

- Carbón
- Petróleo
- Gas
- Solar
- Eólica
- Biomasa

Por el contrario, una energía secundaria es la que procede de un recurso que ha tenido que sufrir una o más transformaciones para proporcionárnosla. Una energía secundaria es la electricidad, ya que se obtiene a partir de energías primarias como el quemado de carbón o petróleo en una central térmica. Ejemplos de energías secundarias son:

- Electricidad
- Nuclear
- Hidráulica
- Geotérmica

Nótese que existen energías que pueden ser a la vez primarias y secundarias. Por ejemplo, la energía hidráulica se considera secundaria en la mayoría de los casos, puesto que se emplea casi exclusivamente para la producción de electricidad. De emplearse energía hidráulica para accionar mecánicamente un conjunto de máquinas (por ejemplo un molino de agua), la energía hidráulica sería considerada primaria.

Los diferentes tipos de energía también pueden clasificarse según otro criterio: energías **renovables** y **no renovables**.

Las energías renovables están regidas por el ciclo solar y persistirán hasta el agotamiento del Sol, hecho que se cree ocurrirá en un período de tiempo superior a la propia vida de la Tierra (dentro de unos 6000 millones de años).

Las energías no renovables, por el contrario, son aquellas consecuencia de recursos energéticos formados en épocas remotas de la historia de la Tierra y, por ello, sus reservas son limitadas. Los recursos de los que procede esta energía tienen un carácter estático es decir, que no se producen actualmente o se producen en cantidades tan exiguas que su extracción desmesurada producirá su agotamiento en un plazo más o menos corto.

Existen también otros tipos de energías de carácter intermedio, que, bien por presentar plazos de agotamiento muy largos, o bien por estar regidas por otras directrices distintas del ciclo solar, son difíciles de catalogar como renovables o no renovables, por lo que serán consideradas aparte.

ENERGÍAS RENOVABLES

Ejemplos de energías renovables son:

- Solar
- Eólica
- Biomasa
- Hidráulica
- Oleaje y corrientes marinas
- Gradiente térmico marino

ENERGÍAS NO RENOVABLES

Son:

- Carbón
- Petróleo
- Gas Natural
- Energía Nuclear de fisión (Uranio)
- Pizarras bituminosas y arenas asfálticas

ENERGÍAS DE TIPO INTERMEDIO

Son:

- Geotérmica
- Energía Nuclear de fusión (Deuterio)
- Mareas

ENERGÍAS RENOVABLES

ENERGÍA SOLAR:

Es un tipo de energía que persistirá mientras dure el Sol. Su potencia es superior al de todas las demás energías juntas, pero presenta algunos inconvenientes tales como que es una energía **poco concentrada** y **no constante**. (Fig. 2)

La energía solar es el origen de casi todas las energías renovables y puede ser utilizada directamente en procesos térmicos (producción de calor) y para la producción de electricidad.

Dado que las energías fósiles han sido durante mucho tiempo muy baratas, no se ha desarrollado la tecnología de la energía solar sino hasta época muy reciente, en que ha vivido un desarrollo espectacular.

ENERGÍA EÓLICA:

Es la energía del viento. Es también, como la solar, un tipo de energía **poco concentrada** y **no constante**.

La utilización racional de este tipo de energía se lleva a cabo con **aerogeneradores** y **molinos de viento**.

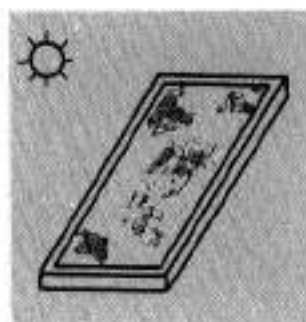


Fig. 2.— Energía solar.

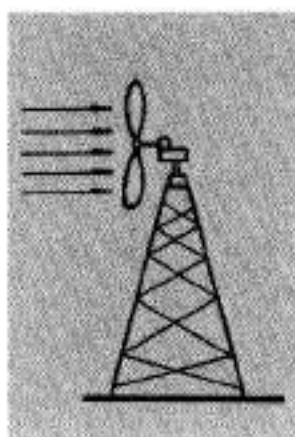


Fig. 3.— Energía eólica.

Un **aerogenerador** consiste en una torre muy elevada cuyo extremo superior dispone de unas hélices que, impulsadas por la fuerza del viento, se ponen a girar arrastrando consigo un generador eléctrico (dinamo o alternador). Por su parte, un **molino de viento** utiliza directamente la potencia mecánica para mover una máquina, bombear agua, etc. (Fig. 3)

Una de las grandes ventajas de la energía eólica es que la energía del viento es **proporcional al cubo de su velocidad**, por lo que en zonas de mucho viento este tipo de energía se verá muy favorecido.

BIOMASA:

La energía de la biomasa consiste en la energía producida por la fotosíntesis en los vegetales. La fotosíntesis no es un proceso especialmente eficiente (tiene un 1% de rendimiento). (Fig. 4)

La utilización racional de este tipo de energía consiste en cultivar especies vegetales apropiadas para la obtención de madera o residuos vegetales que pueden servir como combustible.

Un tema especialmente atractivo es la utilización de las basuras y otros residuos, forestales o ganaderos. Asimismo, mediante procesos biológicos se pueden producir fermentaciones para obtener gas natural de aguas residuales o de alcohol, y otros combustibles a partir de vegetales.

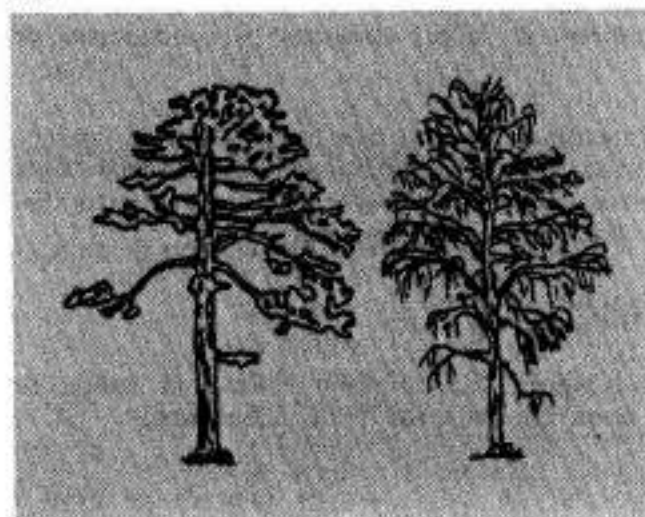


Fig. 4.— Energía de biomasa.

HIDRÁULICA:

La energía solar produce la evaporación del agua de los océanos, la cual se condensa en forma de lluvia y da lugar a los ríos, que devuelven otra vez el agua al mar.

Para la energía hidráulica dos son los factores a tener en cuenta:

- Caudal
- Desnivel

Las cuencas fluviales se encargan de concentrar este tipo de energía. Si el río atraviesa un desnivel es posible su explotación, bien sea a caudal directo, bien mediante la construcción de una presa que embalse el agua y aporte la energía hidráulica en el momento preciso. (Fig. 5).

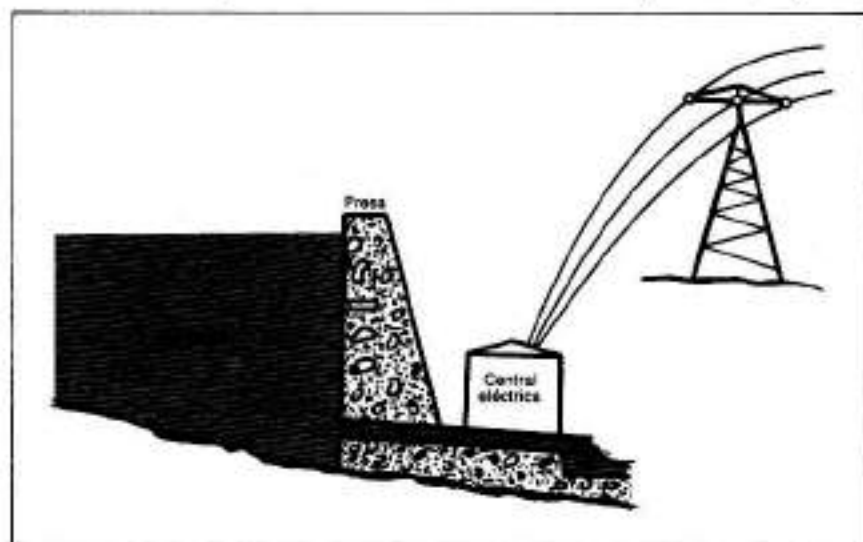


Fig. 5.— Energía hidráulica.

OLEAJE Y CORRIENTES MARINAS

Respecto al oleaje se han realizado diversos estudios y experimentos, que no han conducido a resultados satisfactorios dada la enorme variabilidad de las olas.

En cuanto a las corrientes marinas, podrían disponerse ingenios provistos de hélices bajo la superficie del mar, de forma que las corrientes marinas las accionasen y produjesen así electricidad.

Todos estos proyectos están en fase de experimentación

y no se prevé un rápido desarrollo comercial de los mismos. (Fig. 6).

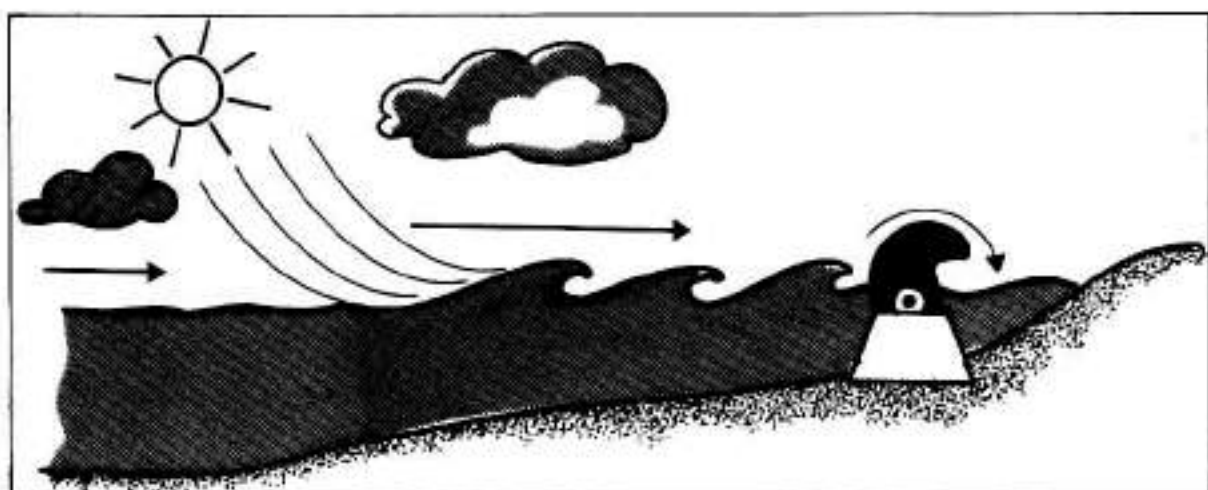


Fig. 6.— Energía de oleaje.

GRADIENTE TÉRMICO MARINO

Esta energía consiste en aprovechar la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar (especialmente en zonas cálidas) y el fondo marino donde el agua, al no llegarle la luz solar, está muy fría.

Mediante un **ciclo termodinámico** se haría hervir un fluido apropiado (tal como un gas refrigerante del tipo que emplea un frigorífico) en la superficie, pasaría por una turbina y se condensaría en la zona inferior próxima al fondo marino. (Fig. 7)

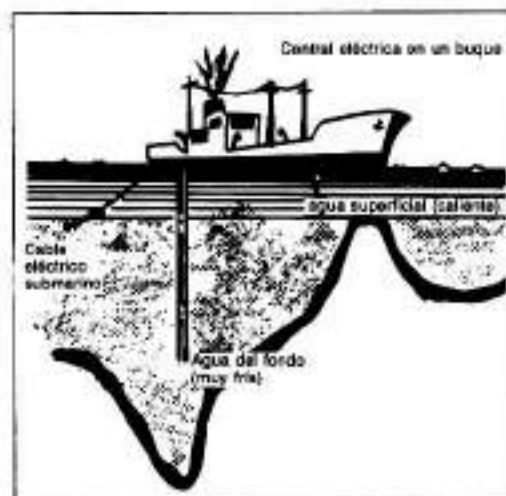


Fig. 7.— Gradiente térmico.

El inconveniente de este sistema es el bajo rendimiento, debido a que la diferencia de temperatura entre el agua cálida y fría es pequeña. No obstante, como la aportación energética es gratuita, el sistema puede resultar rentable.

ENERGÍAS NO RENOVABLES

CARBÓN:

El carbón cubre actualmente el 35% de la demanda energética mundial, y su consumo está en alza debido a que suele ser un producto nacional del que disponen muchos países sin necesidad de importarlo.

El carbón procede de restos vegetales fósiles que quedaron sepultados en épocas anteriores de la historia de la Tierra. Como se sabe, existen distinta variedades de carbón que, ordenadas en orden decreciente de contenido en carbono, son: antracita, hulla, lignito y turba.

Las reservas mundiales de carbón son importantes, estimándose en unas 10 veces superiores a las de petróleo, por lo que no es de prever su agotamiento hasta dentro de algunos milenios si se mantiene el ritmo actual de consumo.

El carbón tiene dos inconvenientes fundamentales:

- Extracción (minería) de coste elevado
- Contaminación ambiental durante su quemado como consecuencia principalmente del elevado contenido de azufre.

Actualmente se están realizando progresos en técnicas nuevas de minería a **cielo abierto** y en la **licuefacción** del carbón, con posibilidad de obtener combustibles líquidos o gaseosos mucho más limpios.

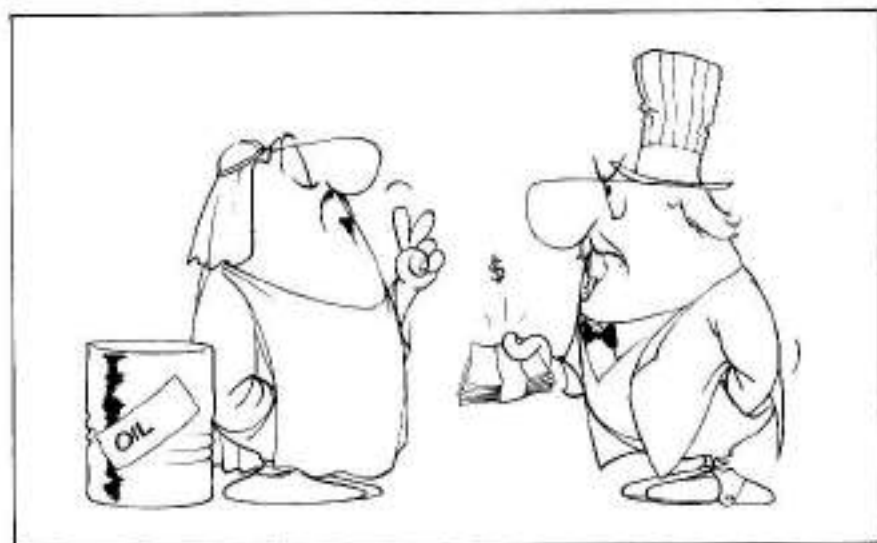
PETRÓLEO:

El petróleo cubre aproximadamente el 50% de la demanda energética mundial.

El petróleo procede, al igual que el carbón, de restos fósiles de animales y plantas de épocas anteriores. La composición del petróleo varía según el lugar de procedencia y constituye un líquido más o menos oscuro llamado crudo.

El petróleo se extrae por bombeo de pozos (algunos de ellos de varios Kms. de profundidad) y se le somete a una **destilación** de la cual se obtienen diversos productos como gasolina, gasóleo, fuel y alquitrán.

Las reservas mundiales de petróleo conocidas no son excesivamente importantes, puesto que al ritmo de extracción actual se preve su agotamiento para dentro de un siglo, si bien existe la posibilidad de explotar reservas poco rentables o marginales a precios de extracción superiores.



GAS NATURAL:

El gas natural cubre un 10% de la demanda energética mundial y procede, al igual que el petróleo, de la descomposición de restos fósiles. El gas suele salir juntamente con el petróleo o bien de pozos exclusivamente de gas. El gas obtenido de los pozos es una mezcla de los 4 primeros hidrocarburos: **metano, etano, propano, y butano** y, como en el caso del petróleo, se le somete a destilación. El metano se licua a -161°C y se transporta licuado en buques especiales hasta los lugares de consumo, donde se utiliza masivamente como **combustible limpio y de alta calidad**. El etano se utiliza en la fabricación de

plásticos, mientras que el propano y el butano se envasan licuados para utilizarlos como combustible doméstico e industrial.

Las reservas mundiales de gas son similares a las de petróleo, pero como su consumo es menor es de prever que puedan durar algunos siglos.

ENERGÍA NUCLEAR DE FISIÓN:

La energía nuclear de fisión consiste en fisurar (fragmentar) núcleos atómicos muy pesados (del final de la tabla periódica), tales como **uranio**, **plutonio**, **torio**, etc., a fin de obtener otros elementos situados en la zona intermedia de la tabla periódica, con fuerte desprendimiento de energía. Esta energía se podría aprovechar directamente como calor o convirtiéndola en energía eléctrica.

Las reservas mundiales de uranio no son excesivas, pero gracias al fenómeno de la **reproducción**, que es la conversión del uranio no consumido en plutonio, la reserva energética es considerable. Esta transformación se realiza únicamente en los llamados reactores rápidos, los cuales están todavía en fase de desarrollo, si bien ya hay algunos funcionando.

El desarrollo de la energía nuclear de fisión está tropezando con diversos problemas. El más grave de ellos es el de los **residuos radioactivos**, que presentan una altísima actividad radioactiva durante miles de años. Estos residuos se han de almacenar en lugares seguros, lo cual plantea problemas muy graves de **seguridad**, pues no puede actualmente garantizarse que dentro de algunos años estos residuos continúen perfectamente confinados. (Por ejemplo, si se entierran pueden ocurrir terremotos u otros fenómenos que los hagan aflorar a la superficie).

PIZARRAS BITUMINOSAS Y ARENAS ASFÁLTICAS:

El petróleo también podría extraerse por destilación de pizarras bituminosas y arenas asfálticas. En ambos casos, la roca absorbe cierta cantidad de petróleo, que se puede extraer por simple **destilación** de la roca. Las reservas mundiales parecen ser importantes.

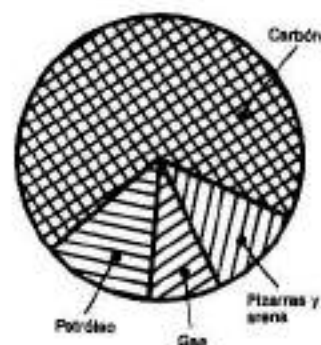


Fig. 8.— Estimación de las reservas fósiles mundiales.



ENERGÍAS DE TIPO INTERMEDIO

GEOTÉRMICA:

Este tipo de energía procede de la **desintegración de elementos radioactivos** en la corteza terrestre, fundamentalmente, **uranio, torio, y potasio 40**. La suposición de que este calor procede de la época en que se formó la Tierra es errónea. Es sobradamente conocido el hecho de que al profundizar en el terreno, cada 33 m. aproximadamente la temperatura sube 1º C.

La energía geotérmica se manifiesta, aparte de la actividad sísmica y volcánica, en fuentes termales, salida de vapor, géiseres, etc.

Esta energía se considera de tipo intermedio, puesto que la producción de calor es motivada por los elementos radioactivos de vida larguísima. Si pudiéramos enfriar una determinada masa de roca (obteniendo por ello energía), esta misma masa se volvería a calentar, ya que seguiría la desintegración de los elementos radioactivos contenidos en ella, si bien a menor ritmo, ya que a medida que pasa el tiempo la radioactividad decrece y la producción de calor es menor.

Si un manto de agua subterránea atraviesa una zona caliente puede calentarse o hacerla hervir, con lo que el vapor podría aprovecharse.

Actualmente se están haciendo pruebas de inyectar agua fría a presión mediante una perforación hasta encontrar una zona de roca caliente, en cuyo caso se puede obtener agua caliente o vapor.

ENERGÍA NUCLEAR DE FUSIÓN:

Al revés que en la energía nuclear de fisión, la energía nuclear de fusión trata de conseguir elementos ligeros, realizando reacciones similares a las que se producen en el Sol.

El elemento fundamental es el **deuterio**, un isótopo del hidrógeno que se encuentra en pequeñas cantidades en el



agua del mar. La unión de dos átomos de deuterio da lugar a la obtención de helio con desprendimiento de grandes cantidades de energía. A pesar de su relativa escasez, las reservas de deuterio contenidas en el agua de mar son importantísimas, lo que permitiría el abastecimiento total de la demanda energética de la Tierra durante miles de millones de años.

Actualmente se están realizando grandes esfuerzos para conseguir controlar esta reacción, cuya forma incontrolada es la bomba H.

Una de las ventajas que tiene la energía nuclear de fusión es que genera muy pocos residuos radioactivos.

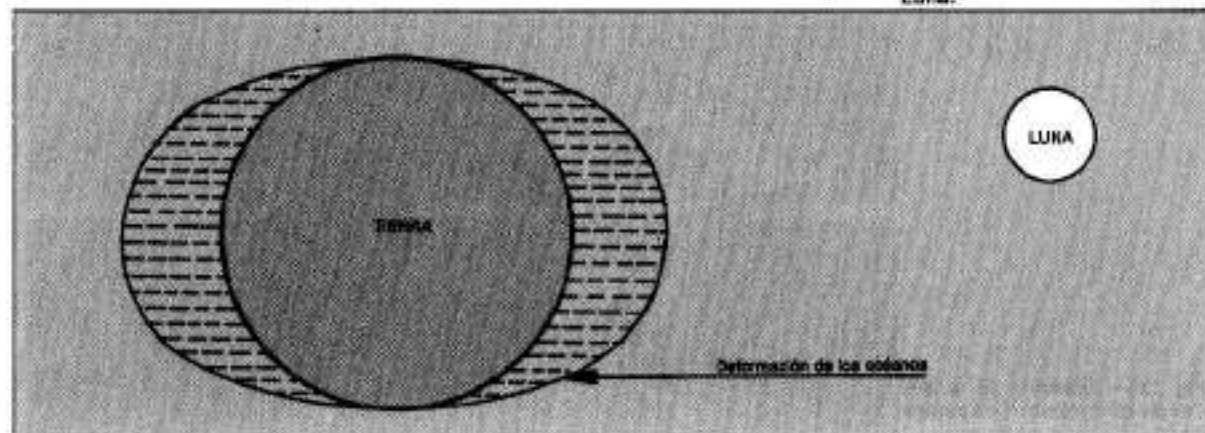
ENERGÍA MAREOMOTRIZ:

Esta energía es diferente a las demás, ya que tiene un origen **gravitacional**. Las mareas se producen en la Tierra como consecuencia de la atracción gravitatoria de la Luna (2/3 partes del efecto) y del Sol (1/3 parte).

La marea consiste en la deformación de la superficie líquida terrestre (inicialmente esférica) en un elipsoide (Fig.4) que se desplaza siguiendo a los dos astros citados, formando una onda de marea. Si esta onda de marea incide en una bahía o estuario apropiado, el nivel de las aguas puede subir considerablemente (hasta unos 18 m).

Cerrando mediante un dique el estuario o bahía y disponiendo de turbinas y compuertas, se puede aprovechar el desnivel existente, tanto en la operación de llenado del estuario como en la de vaciado.

Fig. 9.— Mareas. La superficie líquida de la Tierra se deforma, convirtiéndose en una elipsoide por efecto de la atracción de la Luna.



La energía mareomotriz procede en último término de la rotación de la Tierra, por lo que su obtención masiva supondría una disminución de la velocidad de rotación de la Tierra y el alargamiento del día. No obstante, el momento de inercia de la Tierra es tan elevado que estos efectos tardarían muchos milenios en apreciarse.

LA SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

España es un país **pobre en recursos energéticos**. Sus reservas de carbón son escasas y de mala calidad. No disponemos de reservas importantes de petróleo ni de gas natural.

Tampoco disponemos de importantes recursos para la energía geotérmica, mareomotriz, o eólica. Tan sólo nos hemos visto favorecidos en dos tipos de energía: la **solar** y la **hidráulica**.

La demanda española de energía es similar a la de otros países de la OCDE, observándose algunas diferencias en cuanto a los porcentajes, que son las siguientes: (Fig.5).

- Mayor proporción de consumo de petróleo
- Menor proporción de consumo de carbón
- Poco consumo de gas natural
- Fuerte incidencia de la energía hidráulica

Para hacer frente a la demanda futura y aumentar la proporción de fuentes de energía racionales, el Gobierno Español ha elaborado diversas disposiciones legales, entre

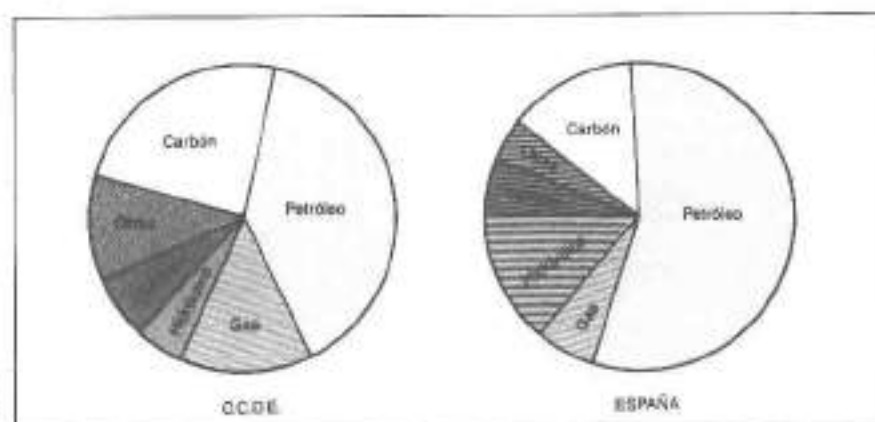
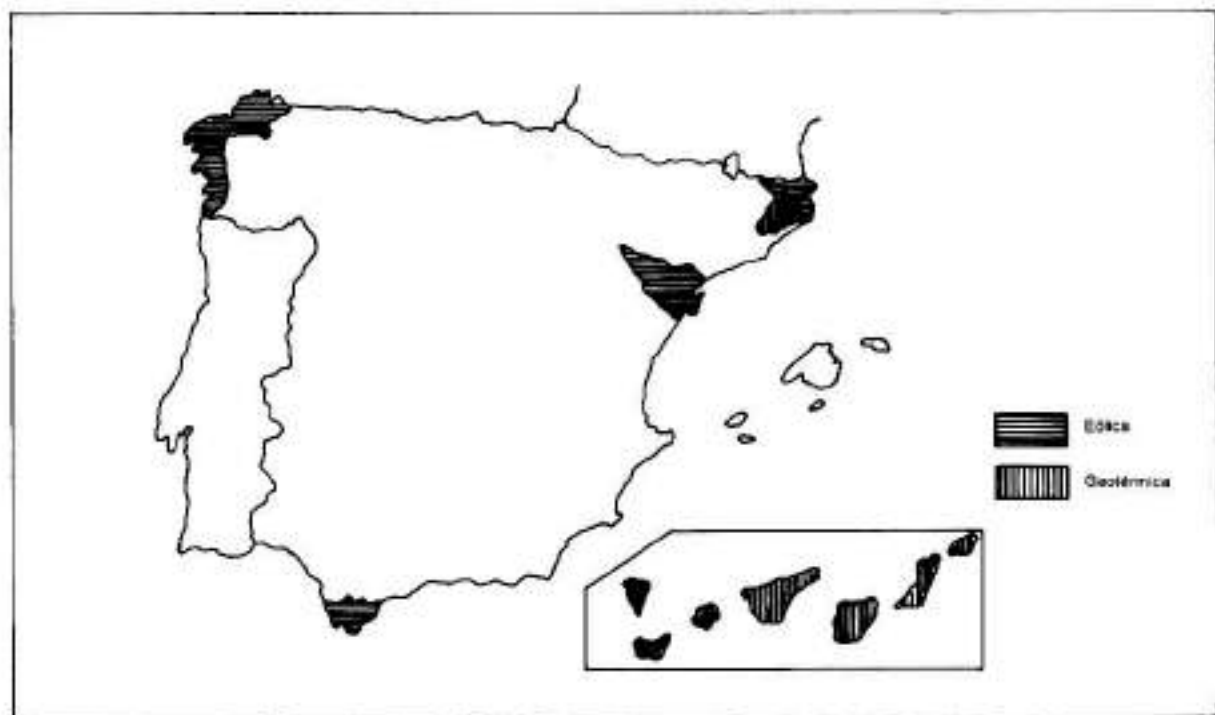


Fig. 10.— Situación de la demanda energética en los países de la O.C.D.E. y en España.

ellas está el PEN (Plan Energético Nacional), cuyos objetivos son el de reducir la fuerte dependencia energética exterior y fomentar el uso de las energías nacionales de todo tipo mediante una política adecuada.

Fig. 11.— Zonas de mayor potencial eólico y geotérmico en España.



DATOS DE INTERÉS

A) CONVERSIÓN DE UNIDADES ESPECIALES

TEC: Tonelada Equivalente de Carbón. Es una unidad de Energía equivalente al calor producido al quemar 1 Tn de carbón de un poder calorífico de unas 7000 calorías/gramo.

TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo. Es una unidad de energía equivalente al calor producido al quemar 1 Tn de petróleo de un poder calorífico de 10.400 calorías/gramo.

**BARRIL
DE
PETRÓLEO**

Unidad de producción de petróleo. Equivale a 159 litros o 150 Kg de petróleo. Este último valor puede variar algo, dependiendo de la densidad del petróleo.

TERMIA

Unidad de energía equivalente a un millón de calorías.

- 1 TEC	= 29.1 EJ J
- 1 TEP	= 43.4 EJ J
- 1 BARRIL DE PETRÓLEO	= 6.5 EJ J
- 1 TERMIA	= 4.18 EJ J

B) CONSUMO DE ENERGÍA TOTAL Y POR HABITANTE EN EL MUNDO:

Año	Consumo mundial de energía en E + 15 J	Consumo "per cápita" Base-1800=1
1800	358	1
1850	2730	6.15
1900	22116	36.61
1920	40216	60.2
1940	58375	79.2
1960	125014	110.7
1980	281397	176.1

C) ESTRUCTURA MUNDIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN 1980:

Carbón	35%
Petróleo	41%
Gas Natural	20%
Hidroelectricidad	2%
Otros	2%



D) INVENTARIO MUNDIAL DE RESERVAS Y RECURSOS ENERGÉTICOS:

Carbón	248	E21
Petróleo	9,6	E21
Gas Natural	5,2	E21
Uranio	289	E21
Hidráulica (por año)	70	E18
Solar (por año)	1,9	E24
Mareomotriz (por año)	58	E18
Geométrica (por año)	700	E18
Deuterio	269	E30

*Expresados en Julios

NOTA:

Obsérvese la preponderancia del carbón sobre el petróleo y el gas natural. Asimismo, es de destacar que entre las energías renovables, la solar destaca en cuanto a su importancia. Finalmente, obsérvese el enorme potencial de la energía almacenada en el deuterio.



RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- La historia de la energía se divide en varias etapas, conocidas como eras. Cada una de ellas se caracteriza por la utilización intensiva de una energía determinada. Las tres principales son las siguientes: era de la madera (hasta el siglo XVIII), era del carbón (todo el siglo XIX hasta mediados del siglo XX) y era del petróleo (desde 1950 hasta la actualidad).
- Las energías se clasifican en primarias y secundarias. Las energías primarias son aquellas que se obtienen directamente del recurso, sin que sea necesario ningún proceso de transformación. Energías primarias son: carbón, petróleo, gas, solar, eólica, biomasa. Lógicamente, en la obtención de energías secundarias sí es necesario un proceso de transformación. La electricidad, la hidráulica, la geotérmica y la nuclear son energías secundarias.
- Otra clasificación posible de las energías es la que diferencia entre las renovables y las no renovables. Las primeras están regidas por el ciclo solar. Sólo se extinguirán cuando el astro rey desaparezca. Son energías renovables las siguientes: solar, eólica, biomasa, hidráulica, oleaje y corrientes marinas, y gradiente térmico marino.
- Las energías no renovables se obtienen de fósiles vegetales y animales que se acumulan en diferentes capas del subsuelo. Por tanto, son recursos limitados. Energías no renovables son: carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear de fisión, pizarras bituminosas y arenas asfálticas.
- Algunas energías son de tipo intermedio ya que tienen similitudes con las renovables y las no renovables. Ejemplos de ello son: la geotérmica, la nuclear de fusión y la mareomotriz.
- La energía solar tiene una potencia superior a las demás energías y es, a su vez, el origen de muchas energías renovables. Su principal desventaja es que su obtención no puede ser constante, depende de la meteorología.
- La energía eólica se obtiene del viento con la utilización de aerogeneradores y molinos de viento. Por su parte, la energía hidráulica se obtiene del agua, aprovechando el caudal y el desnivel.
- La energía de la biomasa tiene su origen en el cultivo de determinadas especies vegetales, que son apropiadas para la posterior obtención de combustible.

- El carbón se obtiene de fósiles vegetales. La antracita, la hulla, el lignito y la turba son distintas variedades de carbón. Sus reservas a nivel mundial son elevadas, se calcula que para varios milenios. Sus dos principales desventajas son el alto coste de extracción (minería) y la elevada contaminación ambiental que produce.
- El petróleo procede de fósiles vegetales y animales. Sufre un proceso de tratamiento, llamado destilación, del que obtenemos gasolina, gasóleo, fuel y alquitrán. Las reservas de petróleo son muy limitadas y están concentradas en unos pocos países. Si a ello añadimos la gran demanda existente, se explica su elevado precio. Por otro lado, el petróleo también puede obtenerse de la destilación de pizarras bituminosas y arenas asfálticas (rocas)
- El gas natural también se obtiene de los restos fósiles. Al igual que el petróleo debe ser destilado para su aprovechamiento obteniéndose metano, etano, propano y butano. Sus reservas también son limitadas pero su demanda también es menor.
- La energía nuclear de fisión se consigue a partir de la fragmentación de núcleos atómicos como el uranio y el plutonio. En dicho proceso se desprende gran cantidad de energía. La energía nuclear presenta un grave problema: el almacenamiento de residuos radioactivos altamente contaminantes.
- La energía geotérmica tiene su origen en la desintegración de elementos radioactivos en la corteza terrestre. Las principales consecuencias de tal actividad son los terremotos, erupciones volcánicas, fuentes termales y géiseres. Por su parte, la energía nuclear de fusión se obtiene al combinar dos átomos de deuterio (isótopo del hidrógeno) Finalmente, la energía mareomotriz aprovecha las mareas de los océanos.
- España es un país con pocos recursos energéticos. Sus dos principales energías autóctonas son la solar y la hidráulica. El Plan Energético Nacional (PEN) quiere reducir la dependencia energética del exterior, fomentando vías alternativas.
- El petróleo cubre el 50% de la demanda energética mundial, el carbón el 35% y el gas natural el 10%.



AUTOEVALUACIÓN DE LA LECCIÓN 2

1. ¿Cuál fue la energía más utilizada durante el siglo XIX?
 - a) La madera.
 - b) La hidráulica.
 - c) El carbón.
 - d) El petróleo.

2. ¿Qué es una energía secundaria?
 - a) Una energía poco importante.
 - b) Una energía que se obtiene de un recurso mediante un tratamiento.
 - c) Una energía del siglo XVIII.
 - d) No existen energías secundarias.

3. ¿Qué son las energías renovables?
 - a) Las que persistirán hasta la extinción del Sol.
 - b) Las obtenidas en un laboratorio.
 - c) Las energías terciarias.
 - d) Las que se extraen de la corteza terrestre.

4. Indique cuál de las siguientes energías es a la vez primaria y renovable:
 - a) Gas natural.
 - b) Geotérmica.
 - c) Biomasa.
 - d) Carbón.

5. ¿Cuál de las siguientes energías es secundaria y de tipo intermedio?
 - a) Eólica.
 - b) Petróleo.
 - c) Hidráulica.
 - d) Geotérmica.



6. Utilizamos los grados Kelvin en...
- a) Mediciones de temperatura absoluta.
 - b) Los grados Kelvin ya no se emplean. En su lugar se emplean los grados Celsius.
 - c) Mediciones de temperatura relativa.
 - d) Mediciones de ángulo plano.
7. ¿Cuál es la unidad de tiempo utilizada en el Sistema Internacional?
- a) La hora.
 - b) El minuto.
 - c) El segundo.
 - d) El mol.
8. ¿Cuántos vatios son 12.4 caballos de vapor?
- a) 9126.4 vatios.
 - b) 59.3 vatios.
 - c) 0.0359 vatios.
 - d) $5.52 \text{ E}-3$.
9. ¿Cuántos julios son 0.124 calorías?
- a) 33.75 julios.
 - b) $2.96 \text{ E}-5$ julios.
 - c) 518.94 julios.
 - e) No son unidades convertibles.
10. ¿Cuántos pascasles son 13.7 bar?
- a) $1.34397 \text{ E}6$ pascasles.
 - b) $1.39 \text{ E}2$ pascasles.
 - c) $1343.97 \text{ E}7$ pascasles.
 - d) 0.716 pascasles.

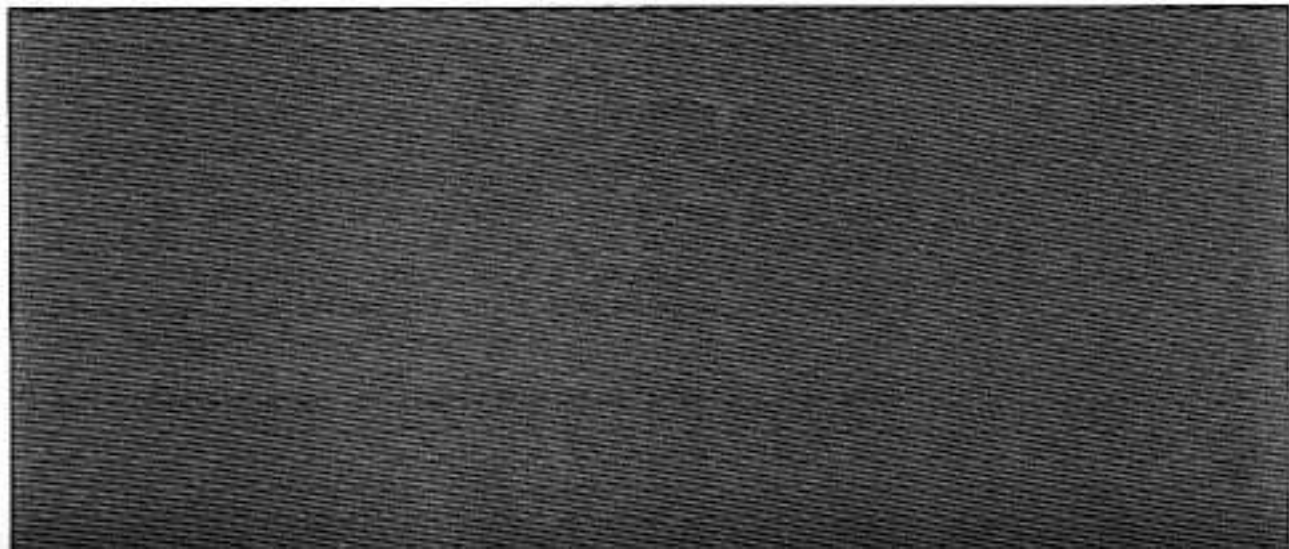


SOLUCIONES AL EJERCICIO AUTOEVALUABLE DE LA LECCIÓN 2

1. Respuesta c). La llamada era del carbón se extiende desde principios del siglo XIX hasta mediados del XX. Anterior a ella encontramos la era de la madera y posterior la era del petróleo.
2. Respuesta b). Efectivamente, una energía secundaria no se obtiene directamente del recurso sino que precisa de una serie de transformaciones. Por ejemplo, en una central térmica, a partir de la combustión del carbón, obtenemos electricidad.
3. Respuesta a). Las energías renovables están regidas por el ciclo solar. Lógicamente, si éste desapareciera, ellas se extinguirían.
4. Respuesta c). El gas natural es energía primaria y no renovable, la energía geotérmica es secundaria y de tipo intermedio, y el carbón es energía primaria y no renovable.
5. Respuesta d). La energía eólica es primaria y renovable, el petróleo es primaria y no renovable, y la energía hidráulica es secundaria y renovable.
6. Respuesta b). La energía hidráulica se obtiene de los ríos. Los desniveles de los cursos fluviales, que producen saltos de agua, y el caudal, la cantidad de agua que baja, determinan su aprovechamiento para fines energéticos.
7. Respuesta b). La opción a) se refiere a los cuatro hidrocarburos que forman el gas natural, la opción c) incluye los productos que se obtienen al destilar el petróleo, y, por último, la opción d) enumera los núcleos atómicos utilizados para conseguir la energía nuclear de fisión.
8. Respuesta d). La energía geotérmica es producto de la actividad en la corteza terrestre. En ella se desintegran elementos radioactivos, proceso que desprende gran cantidad de energía.
9. Respuesta a). España es un país pobre en lo que a recursos energéticos se refiere. Tiene una gran dependencia exterior.
10. Respuesta c). Un barril de petróleo equivale a 159 litros/159 Kg de petróleo (variando ligeramente según la densidad del crudo)



LECCIÓN 3





OBJETIVOS GENERALES

Estudiar los distintos tipos de radiaciones que produce el Sol, a partir del análisis de su estructura como cuerpo celeste y de lo que en él ocurre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las causas por las que varía la energía recibida del Sol de un lugar a otro del planeta.
- Conocer en términos generales los usos y las aplicaciones de la energía solar.
- Aprender la influencia de la atmósfera sobre la constante solar.
- Saber calcular el ángulo de declinación para un día determinado.

3. EL POTENCIAL REAL DE LA ENERGÍA SOLAR

INTRODUCCIÓN

En esta lección se estudiará la estructura interna del Sol y la radiación que produce, de la que se verán detalladamente sus características y tipos. Se abordarán también las causas de variabilidad en el valor de la energía solar de carácter general sobre el planeta, y se iniciará el estudio de ciertos parámetros astronómicos. Finalmente, se dará una visión lo más amplia posible de los variados usos y aplicaciones de la energía solar.

ESTRUCTURA Y DATOS DEL SOL

El Sol es una estrella más de los millones de ellas que iluminan el cielo nocturno. La única diferencia con las demás estrellas estriba en su distancia a la Tierra: unos 149.000.000 de Kms., distancia enormemente inferior a los muchos años-luz que nos separan, en promedio, del resto de las estrellas.

El Sol es un cuerpo esférico de naturaleza gaseosa (Fig.1) que genera energía debido a las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en su zona central. La composición interna del Sol, se supone que consiste en un núcleo central a unos 15.000.000° C de temperatura y presiones enormes, que concentra el 40% de la masa del Sol con una densidad de unos 100.000 Kg/m³ (densidad alcanzada debido a la enorme presión). Saliendo del núcleo, que es donde se producen las reacciones nucleares, se atraviesa una zona intermedia y disminuye la densidad y la temperatura. La capa exterior, con una densidad muy baja, es la llamada zona convectiva en la que el calor se transmite por **convección** hasta la superficie.

La superficie solar se llama **fotosfera** y es lo que pode-

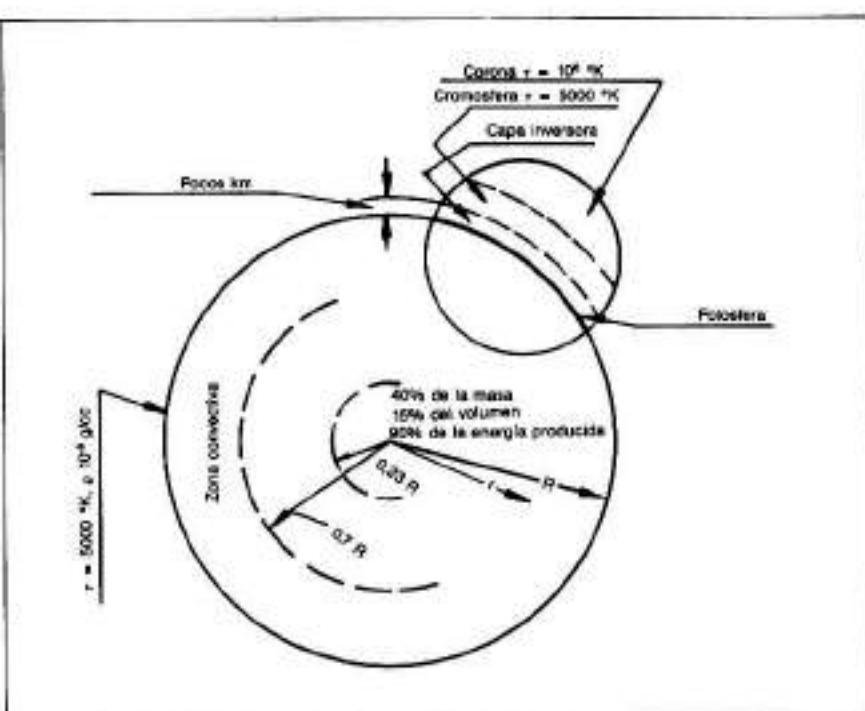


Fig. 1.— Estructura del Sol.

mos ver desde la Tierra. Tiene una estructura irregular, granulosa y cambiante, pues aquí se producen las fulguraciones solares y las manchas. Su temperatura se ha estimado en 5.500°C . Más allá nos encontramos con la atmósfera del Sol y con la **corona**, que es la parte más externa de la atmósfera solar.

Las reacciones nucleares que tienen lugar en el Sol consisten en la transformación de **hidrógeno** en **helio**, a través de varios pasos intermedios, entre los que figuran la obtención de **deuterio**. El resultado global es que cuatro átomos de hidrógeno se convierten en uno de helio. Ahora bien, esta transformación se realiza con una pequeña **pérdida de masa**. El átomo de helio obtenido tiene una masa algo inferior a la de los cuatro átomos de hidrógeno primitivos. Esta pérdida de masa, se ha transformado en energía, de acuerdo con la famosa ecuación de **Einstein** $E = m c^2$. El Sol pierde cada segundo 4.2 millones de toneladas de materia que se transforman en energía. De acuerdo con la fórmula de Einstein, ello representa una energía de:

$$4,2 \text{ E}9 \text{ Kg/s} \times (3\text{E}8 \text{ m/sg})^2 = 3,78 \text{ E}26 \text{ Julios/s} = W$$

Esta energía se irradia por el espacio con simetría esférica en todas direcciones. La Tierra orbita al Sol a una

distancia de 149 millones de Kms. Calculemos ahora la potencia que recibe una superficie de 1 m² en la Tierra si se halla perpendicular al Sol. Para ello bastará dividir la potencia producida por el Sol, por los metros cuadrados de superficie de una hipotética esfera que envolviera al Sol y tuviera como radio la distancia que lo separa de la Tierra al Sol.

$$\frac{\text{Potencia producida por el Sol}}{\text{Superficie esférica}} = \frac{3,78 \text{ E } 26 \text{ W}}{4\pi(149 \text{ E } 9 \text{ m})^2} = 1353 \text{ W/m}^2$$

Es decir, una superficie de 1 m² situada a la distancia de la órbita terrestre recibe una potencia de 1353 W. Lógicamente, puesto que la energía producida por el Sol es constante, y la Tierra se mueve en una órbita casi circular, este valor permanece prácticamente constante a lo largo del año, y por ello se la ha convenido en llamarle **constante solar**, si bien hay que hacer constar que no es un valor constante e inmutable, sino que está sometido a pequeñas variaciones. En la Tierra, la constante solar será, pues, la potencia recibida del Sol en 1 m² de superficie absorbente de la radiación solar, situada perpendicularmente a dicha radiación y fuera de la atmósfera.

Este valor de la constante solar es la **máxima potencia** que nos puede llegar del Sol por unidad de superficie.

De acuerdo con los actuales conocimientos de Astrofísica, se cree que el Sol ha brillado con la misma intensidad que lo está haciendo ahora durante toda su vida y que lo seguirá haciendo mientras le quede vida útil. No obstante, se sabe que existen ligeras fluctuaciones de muy poca importancia en su temperatura superficial ligadas, fundamentalmente, al ciclo de 11 años de las manchas solares.

LA RADIACIÓN SOLAR

La energía que recibimos del Sol se compone exclusivamente de **radiación electromagnética**. El Sol como cuerpo incandescente emite radiación. Ahora bien, no toda la radiación que recibimos del Sol lo es en forma de luz visible. También recibimos radiación en forma de rayos infrarrojos y ultravioletas, que son invisibles para el ojo humano, pero cuyos efectos y presencia son innegables.



El ojo humano está adaptado al tipo de luz que emite el Sol, la cual depende de su temperatura superficial. La luz que emite el Sol, aparentemente blanca, no es tal, sino que constituye un conjunto de luces de diversos colores: los colores del **espectro** o del arco iris.

La luz se caracteriza, ya lo hemos visto, por ser una radiación electromagnética que se propaga en el vacío a la velocidad de 300.000 Km/s. Todas las radiaciones electromagnéticas se propagan a igual velocidad, pero se pueden distinguir por su **longitud de onda**, valor que expresaremos en **nanómetros (nm)** ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) (Fig. 2). La luz roja es la que tiene mayor longitud de onda entre las visibles, y la violeta la que tiene menos. Con longitudes de onda superiores a la del rojo, tenemos el infrarrojo, que nos produce una reacción de calor en la piel pero no es visible por el ojo humano. Para longitudes de onda superiores al violeta tenemos el ultravioleta, que tampoco es visible, pero cuyos efectos se dejan sentir en el fenómeno del bronceado de la piel.

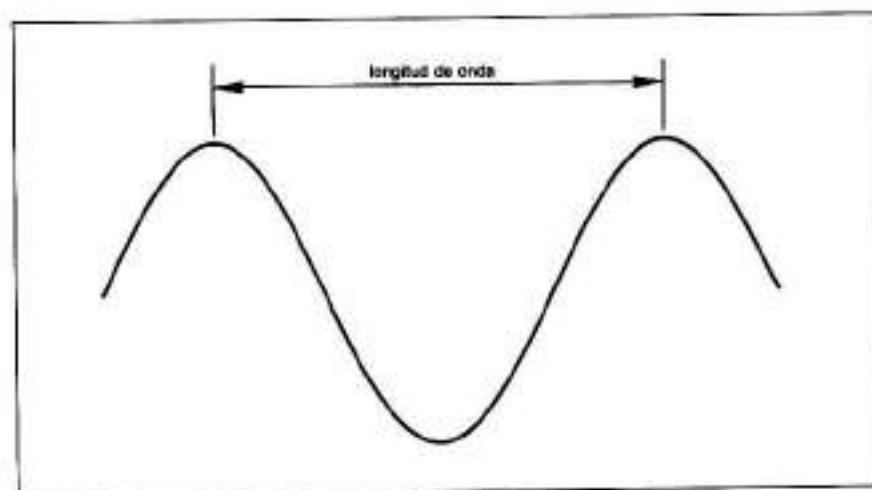


Fig. 2.— Longitud de onda de la luz.

La distribución de los distintos tipos de radiación constituye el llamado **espectro solar**, que consiste en una gráfica en la que figuran las diferentes longitudes de onda. El espectro solar extraterrestre (fuera de la atmósfera) es el reflejado en la Fig.3

La proporción de los distintos tipos de radiación es

● Ultravioleta	7%
● Visible	47%
● Infrarrojo	45%

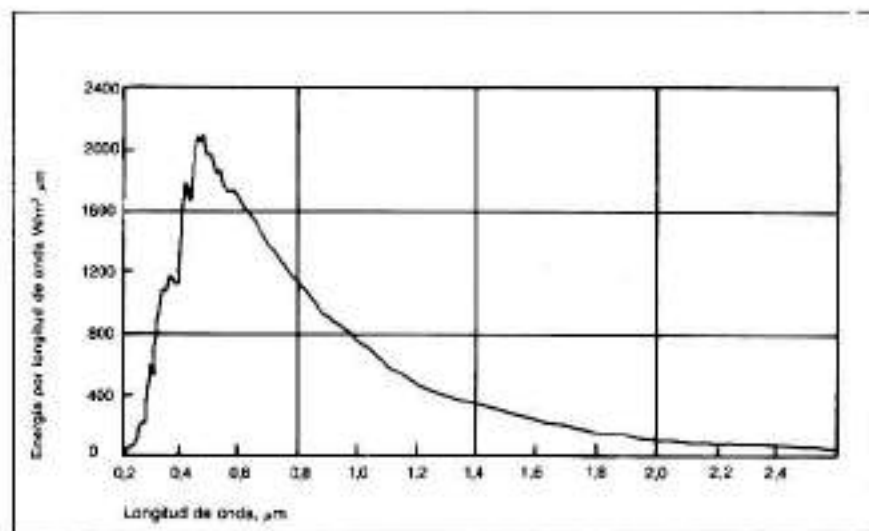


Fig. 3.— Irradiación espectral estándar a la distancia media que separa la Tierra del Sol (constante solar = 1353 W/m²).

La zona visible abarca desde los 380 nm (violeta) hasta los 780 nm (rojo). El infrarrojo se extiende hasta longitudes de onda muy elevadas; particularmente puede considerarse que 3000 nm. es el límite máximo efectivo de radiación infrarroja que recibimos del Sol; por su parte, el ultravioleta se extingue rápidamente a medida que alcanza longitudes de onda menores, siendo su límite práctico de unos 200 nm.

INFLUENCIA DE LA ATMÓSFERA

La presencia de la atmósfera altera fuertemente el valor de la constante solar que recibimos en la superficie de la Tierra, y que es el valor que nos es realmente útil. La atmósfera actúa de la siguiente forma respecto a la radiación solar:

- Absorbiendo ciertas longitudes de onda de forma selectiva,
- Dispersando (cambio de dirección) la radiación que procede del Sol,
- Absorbiendo la radiación de forma general (nubes y polvo) (Fig. 4)

Todos estos factores hacen que a nivel del suelo el valor de la constante solar sea menor que el valor extraterrestre. Recuérdese que el espesor de atmósfera, unos 150

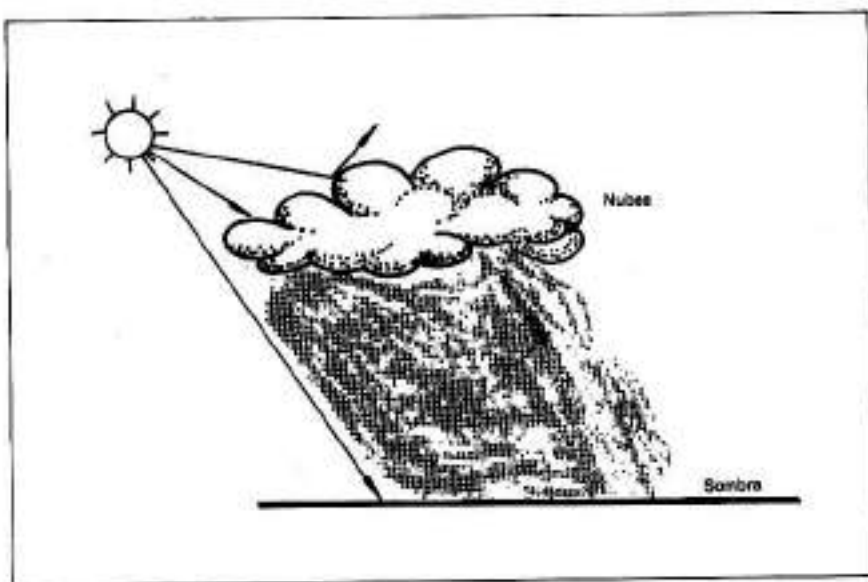


Fig. 4.— Las nubes absorben parte de la radiación solar.

Kms., es despreciable respecto a distancia al Sol.

Así, en la capa de ozono que existe en la estratosfera a unos 25 Kms. de altura, se absorbe la casi totalidad de la radiación ultravioleta, que sólo alcanza el suelo en ínfimas cantidades. Por lo tanto, la incidencia de la radiación ultravioleta no se considerará, excepto en los casos de envejecimiento de materiales (gomas, plásticos, superficies selectivas, etc.)

La presencia del vapor de agua y del dióxido de carbono absorbe las longitudes de onda situadas preferentemente en el infrarrojo, impidiendo de este modo que alcance la superficie terrestre la totalidad de la radiación visible e infrarroja producida por el Sol, y, por lo tanto, haciendo que el valor de la constante solar a nivel del suelo en un día despejado sea todavía más bajo. (Fig. 5)

Finalmente, la presencia de nubes y partículas de polvo hace que la radiación quede fuertemente absorbida de forma general y pierda la dirección inicial. Este hecho y su importancia serán debidamente tratados en el siguiente capítulo de este Curso.

Como consecuencia final de estos hechos, podemos estimar que el valor de la constante solar en un día de verano de cielo absolutamente despejado no superará el valor de 1.000 w/m^2 aproximadamente. El resto de la potencia térmica calculada será absorbida por la atmósfera.

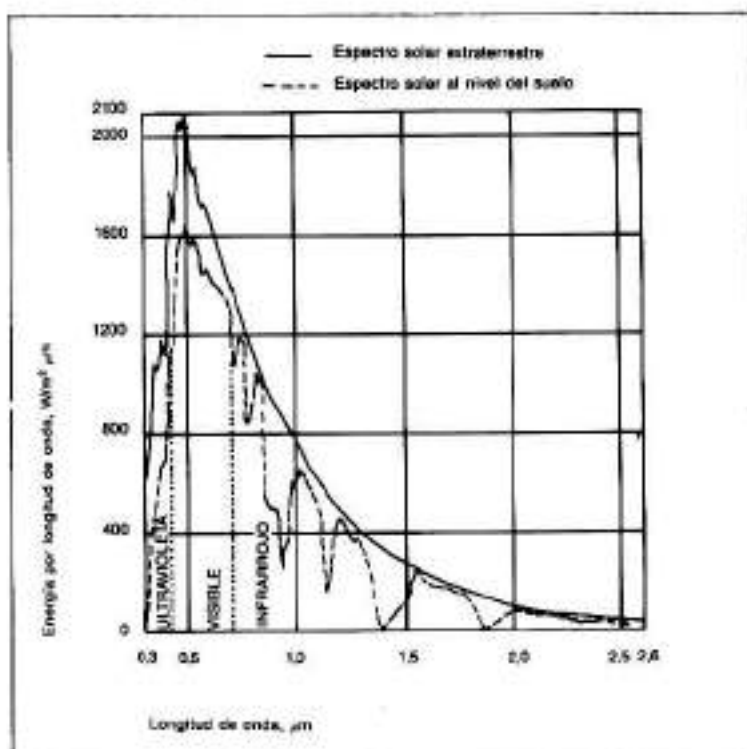


Fig. 5.— Espectro solar al nivel del suelo.

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LA ENERGÍA SOLAR

La radiación que alcanza una superficie plana depende del ángulo de incidencia de la radiación respecto a esta superficie. Hemos definido el valor de la constante solar como la potencia recibida por una superficie de 1 m² perpendicular a la radiación solar. Si la dirección de la radiación no es perpendicular a la superficie, entonces el valor real de la potencia que incide sobre aquélla ha de multiplicarse por el coseno del ángulo que forman las direcciones de la radiación y la perpendicular a la superficie. (Fig.6).

Como sea que el coseno es una función que varía poco para pequeños ángulos, incluso una desviación de unos 15° es prácticamente inapreciable, pues origina una reducción de la potencia incidente del 3,5%.

La Tierra, en su órbita alrededor del Sol, pasa a lo largo del año unas veces más cerca y otras más alejada.

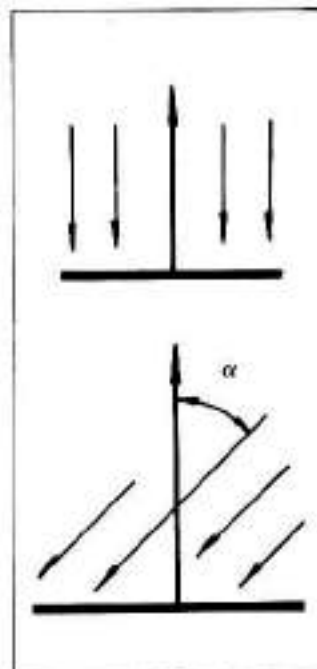


Fig. 6.— Radiación perpendicular y radiación oblicua.

De hecho, la órbita de la Tierra es casi circular y la variación de la constante solar varía muy poco. Aproximadamente el 3 de enero la Tierra se encuentra en el **perihelio**, distancia mínima al Sol y el 6 de julio en el **afelio**, punto de máxima distancia. Estas posiciones avanzan lentamente a lo largo del tiempo, tardando unos 100.000 años en dar una vuelta completa, y se cree que junto con otros factores han sido la causa desencadenante de las glaciaciones. No obstante, lo que nos interesa ver aquí es que este fenómeno **nada tiene que ver** con la distribución de horas de sol a lo largo de las cuatro estaciones del año. Tan sólo favorece, en muy pequeña medida, el tener unos inviernos algo más cálidos y unos veranos más frescos para los habitantes del hemisferio Norte y perjudica a los habitantes del hemisferio Sur, que ven como en invierno tienen el Sol más alejado y en verano más próximo. (Esto hace que la constante solar varíe algo a lo largo del año). (Fig.7)

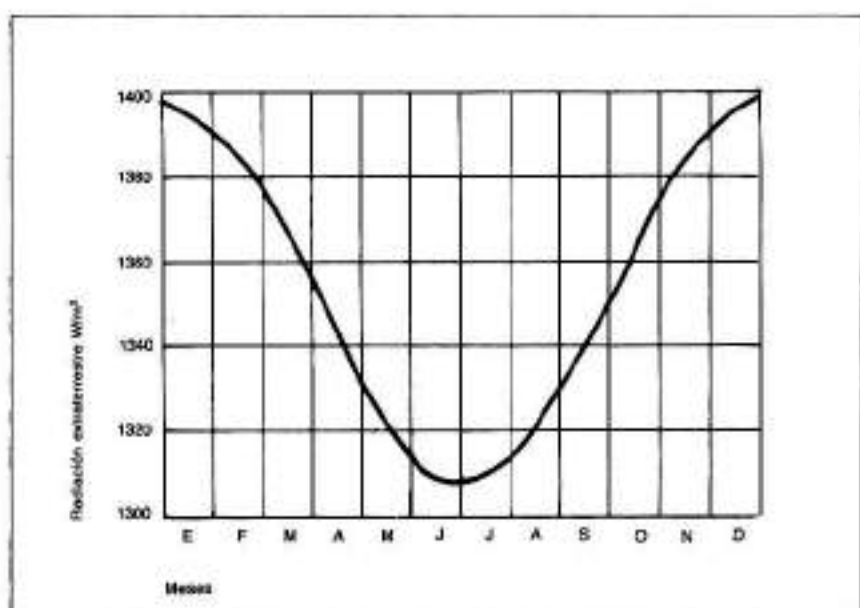


Fig. 7.— Variación de la constante solar a lo largo del año.

El fenómeno de la diferente distribución del número de horas al sol durante el año proviene del hecho de que el eje de rotación de la Tierra está inclinado respecto al plano de la órbita, en un ángulo de $23^{\circ} 27'$ (Fig.8)

Este hecho origina las estaciones y puede medirse mediante un ángulo llamado **declinación**, que es el ángulo en que vería el Sol un habitante de la Tierra situado en el Ecuador en el momento que pasase por el **meridiano** respecto al **cenit** (Fig.9)

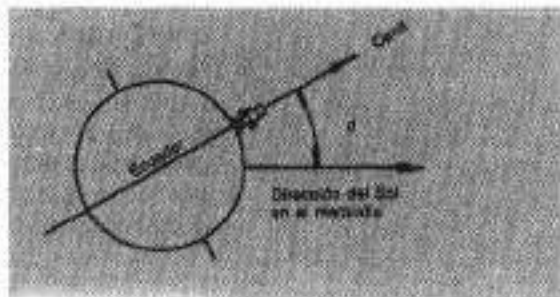
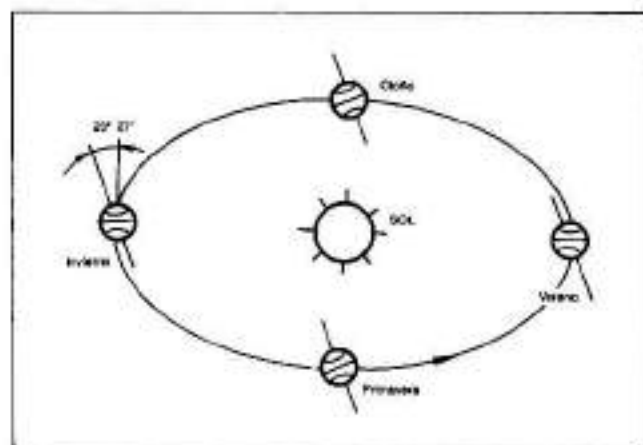
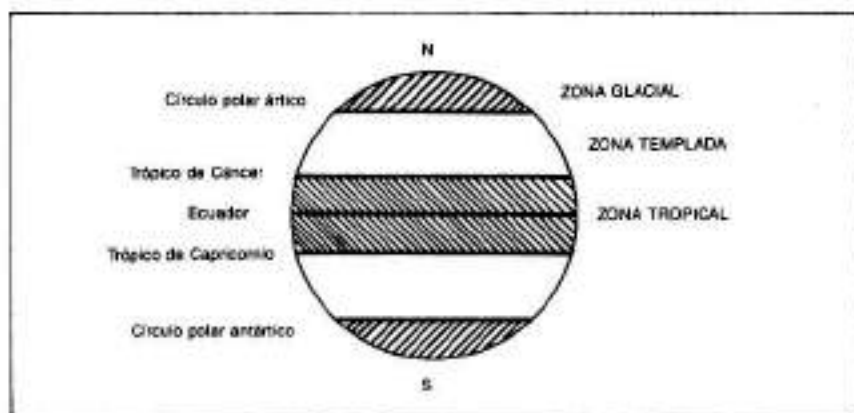


Fig. 9. — Ángulo de declinación.

Fig. 8. — La dirección del ángulo de rotación de la Tierra se mantiene fija.

Como es fácil de comprobar, la declinación coincide en los **solsticios** con el valor de los $23^{\circ} 27'$ y se anula en los **equinoccios**.

Por esta razón, la Tierra queda dividida en 3 zonas principales, simétricas respecto al Ecuador: la zona tropical, la zona templada y la zona glacial. (Fig.10).



$23^{\circ} 27'$ sería, expresado en valor decimal, 23.45 , ya que 45 centésimas de grado o 0.45° son, expresados en minutos (cada grado tiene 60 minutos):

$$0.45 \text{ grados} \times 60' / \text{grado} = 27'$$

Otro ejemplo: Si queremos convertir 16.20 a grados y minutos, haríamos:

$$0.20 \text{ grados} \times 60' / \text{grado} = 12' \text{ es decir, la respuesta es } 16^{\circ} 12'$$

Del forma inversa, si lo que deseamos es convertir minutos en centésimas de grado realizaríamos la siguiente operación:

$$\text{Centésimas de grado} = \text{minutos} / 0.60$$

$$54' = 54 / 0.60 = 0.90 \text{ grados}$$

$$48' = 48 / 0.60 = 0.80 \text{ grados}$$

$$27' = 27 / 0.60 = 0.45 \text{ grados}$$

Fig. 10. — Zonas climáticas de la Tierra.

En la zona tropical el Sol **por lo menos** está un día al año en el mediodía solar sobre el cenit de cualquier lugar situado en esta zona.

En la zona templada el Sol **nunca** alcanza el cenit y todos los días del año el Sol **siempre** sale de día.

En la zona glacial hay días del año en que el Sol **no sale** y días en que **no se pone** (sol de medianoche).

Estos fenómenos dan lugar a que en la zona tropical los



días y las noches tengan durante todo el año unas 12 horas cada uno, y que las variaciones de insolación a lo largo del año sean pequeñas.

En la zona templada (y cuanto más hacia los polos, más acusadamente), se observa una fuerte preponderancia de la radiación que incide en verano y una reducción de la radiación invernal.

Finalmente, en la zona glacial, durante el verano el valor de la radiación puede ser relativamente alto por el hecho de actuar durante las 24 horas del día, pero en invierno es nulo. (Fig.11).

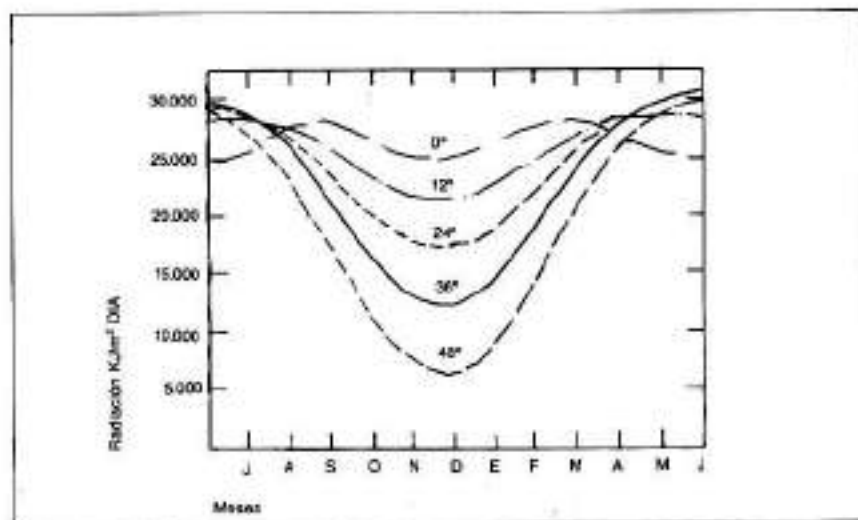


Fig. 11.— Radiación diaria en un día despejado para diferentes latitudes.

Recuerde que ya hemos dicho en la página anterior que 23.45 es lo mismo (expresado en sistema decimal) que 23° 27'. Este valor, lo recalcamos, es el ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de su órbita, y el causante de las diversas estaciones del año.

Para calcular el valor del seno en la fórmula de Cooper podemos usar una calculadora con funciones trigonométricas, tablas o la propia calculadora de Windows, es cogiendo si ese es el caso en "Ver" la modalidad científica. Las tablas de trigonometría pueden consultarse en cualquier manual escolar elemental sobre la materia.

El ángulo de la declinación se puede calcular fácilmente mediante la fórmula de Cooper:

$$d = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right)$$

donde n es el día del año (n=1 para el 1 de enero y n= 365 para el 31 de diciembre). Podemos observar que el valor de d se anula para el 22 de marzo y el 23 de septiembre, y que alcanza el valor máximo positivo el 22 de junio y el valor máximo negativo el 22 de diciembre.

La importancia del valor del ángulo de declinación se verá en la siguiente lección:

Así pues, observamos que si bien toda la superficie de la Tierra recibe en mayor o menor medida la acción de la radiación solar, existen muchas diferencias en cuanto al valor y distribución de la **insolación** (número de horas de sol al día), lo que hace que las zonas glaciales sean poco aptas para el aprovechamiento de este tipo de energía. (Fig.12).

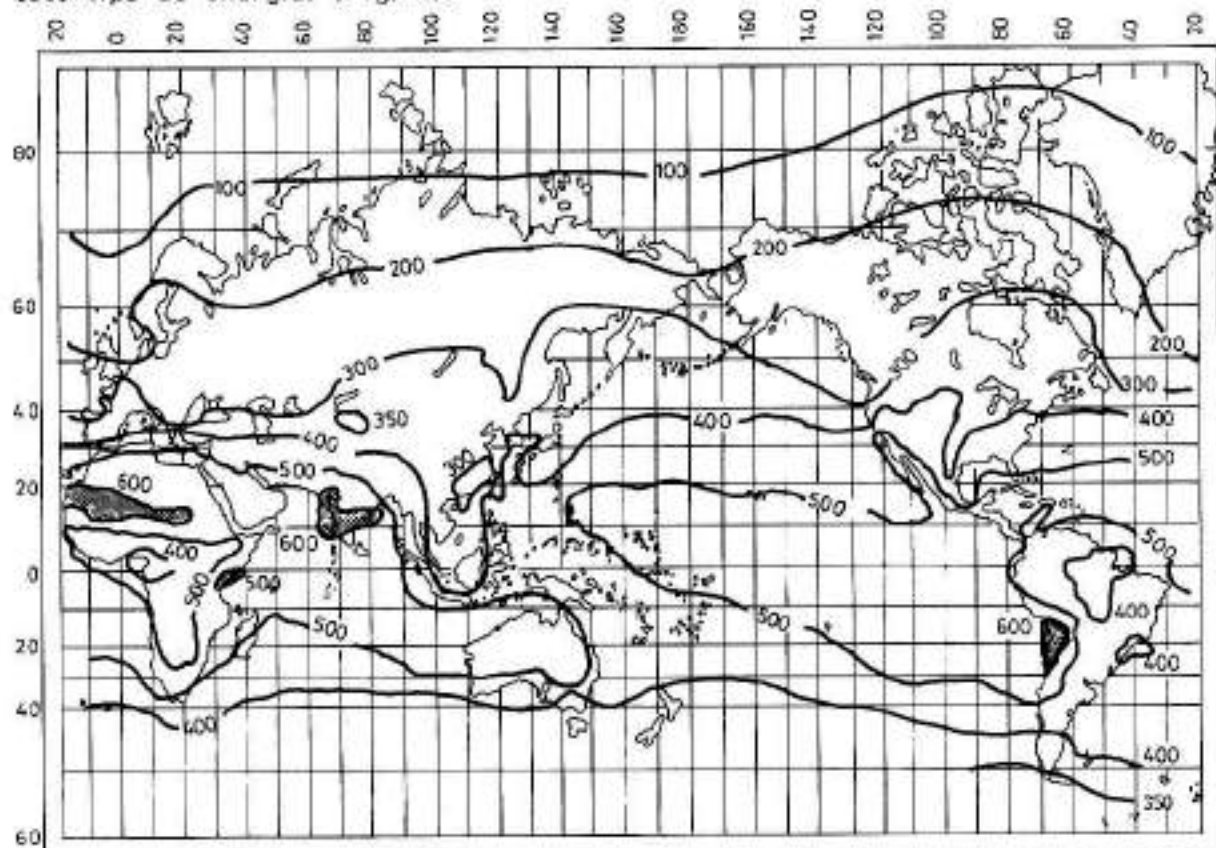


Fig. 12.- Radiación diaria en el mes de marzo (directa-difusa), en cal/cm² día.

USOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

Hemos visto en los apartados anteriores del presente capítulo que la energía solar es **dispersa** (es decir, presenta unas potencias por unidad de superficie pequeñas y es **no constante**, puesto que hay alternación del día y de la noche, días nublados, etc.).

Veamos ahora brevemente algunos de los usos y aplicaciones en que la energía solar puede ser competitiva respecto a otros tipos de energías.



Las aplicaciones de la energía solar se pueden dividir básicamente en 2 apartados:

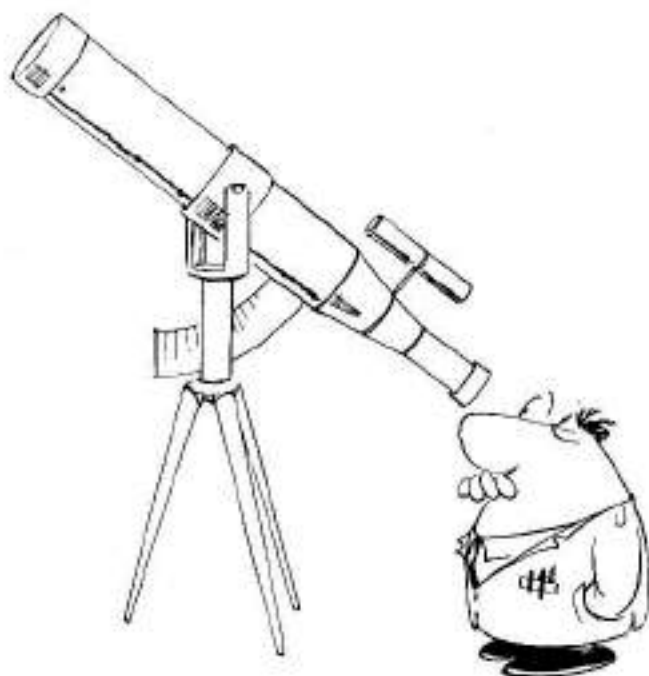
- Producción de calor
- Producción directa de electricidad

Respecto a la producción de calor, ésta se divide en tres subgrupos, de acuerdo con las temperaturas de trabajo:

- Baja temperatura (hasta 100°C)
- Media temperatura (de 100° a 400°C)
- Alta temperatura (más de 400°C)

El campo de las bajas temperaturas es el más sencillo y el más competitivo. La energía solar puede usarse eficientemente para calentar agua, tanto para usos domésticos como industriales, para calentar locales, para el secado de grano agrícola y para otras muchas aplicaciones, que veremos detalladamente a lo largo de este Curso.

En el campo de las medias temperaturas, la energía solar puede utilizarse para la obtención de vapor con finalidades industriales, para la producción de frío, etc.





En el campo de las altas temperaturas la energía solar puede utilizarse para la obtención de vapor con fines energéticos (producción de electricidad), para la fusión de metales y aleaciones de gran pureza y para ensayos de resistencia de materiales a altas temperaturas.

La producción directa de electricidad permite en zonas alejadas de la red eléctrica y en naves espaciales el abastecimiento eléctrico de forma sencilla mediante paneles fotovoltaicos, los cuales por ser totalmente estáticos tienen una vida útil muy prolongada.

DATOS DE INTERÉS

A) CARACTERÍSTICAS DEL SOL

Diámetro:	1.392.000 Km
Masa:	$1.98 \cdot 10^{30}$ Kg
Distancia media a la Tierra:	149.000.000 Km
Temperatura superficial:	5.500 °C
Edad:	4.5 $\cdot 10^9$ años
Tiempo previsto de vida del Sol:	6 $\cdot 10^9$ años
Potencia irradiada:	$3.78 \cdot 10^{26}$ W

B) PROGRAMA PARA OBTENER EL ÁNGULO DE DECLINACIÓN

```

10 REM FORMULA DE COOPER, 101 A, Robot
11 CLS
20 input "Día: ", d
30 input "Mes: ", m
40 i = 0
50 for n = 1 to m
60   read v
70   x = x + v
80 next n
90 u = x + d:      v = día del año
100 PI = 3.141516
110 print "ANGULO DE DECLINACION = "
120 print 23.45 * SIN((1/360 * (234 + U) / 365) * PI / 180)
130 DATA 0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30

```



RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- El Sol es la estrella de nuestro sistema planetario. Se trata de un cuerpo esférico de naturaleza gaseosa que genera gran energía debido a las reacciones nucleares de fusión que se originan en su zona central, reacciones que consisten básicamente en la transformación de hidrógeno en helio.
- La superficie del Sol se llama fotosfera.
- La corona es la parte más exterior de la atmósfera solar.
- La energía del Sol se irradia por el espacio en todas direcciones.
- La tierra orbita alrededor del Sol a una distancia aproximada de 149 millones de kilómetros.
- La constante solar es la potencia recibida por un metro cuadrado de superficie debido a la energía del sol. Su valor es de 1.353 W/m^2 . Este valor es la máxima potencia que nos puede llegar del Sol por unidad de superficie.
- La radiación que recibimos del Sol es exclusivamente electromagnética.
- Algunas de las radiaciones recibidas del Sol, como las infrarrojas y las ultravioletas, no son visibles para el ojo humano.
- Las radiaciones se distinguen por su longitud de onda, expresada en nanómetros.
- La distribución de los distintos tipos de radiación constituye el espectro solar.
- La atmósfera terrestre influye sobre el valor de la constante solar, absorbiendo ciertas longitudes de onda, dispersando la radiación del Sol y absorbiendo, a causa del polvo y las nubes, la radiación general.
- A unos 25 kms. de altura se halla la capa de ozono.
- La radiación que alcanza una superficie plana depende del ángulo de incidencia de dicha radiación.
- Recibe el nombre de perihelio la distancia mínima de la Tierra al Sol, y de afelio el momento en que la Tierra se encuentra más alejada de aquél.
- La distinta distribución del número de horas de sol año es consecuencia de la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la órbita, en un ángulo de $23^\circ 27'$.



- La declinación es el ángulo en que vería el Sol un habitante de la Tierra situado en su Ecuador en el momento en que aquel pasase por el meridiano respecto al cenit.
- La Tierra queda dividida en tres zonas principales, simétricas en relación al Ecuador, llamadas, zona tropical, zona templada y zona glacial.
- El ángulo de declinación se puede calcular mediante la fórmula de Cooper.
- La energía solar puede usarse en la generación de calor a baja, media y alta temperaturas, así como en la producción directa de electricidad. El campo más competitivo es por el momento el de producción de calor a bajas temperaturas, sin olvidarnos de citar algunos usos ya popularizados como la alimentación eléctrica en calculadoras de bolsillo (células fotoeléctricas), en paneles de naves espaciales, proyectos de automóviles eléctricos que combinarían baterías convencionales con células solares, etc.



AUTOEVALUACIÓN DE LA LECCIÓN 3

1. ¿Cómo se denomina la superficie solar de estructura irregular, granulosa y cambiante debido a las manchas y fulguraciones solares?
 - a) Corona.
 - b) Núcleo.
 - c) Fotosfera.
 - d) Perihelio.
2. ¿De qué tipo son las reacciones que se producen en el Sol?
 - a) El hidrógeno se transforma en deuterio y éste en helio.
 - b) Reacciones nucleares a base de la fisión de Uranio 35.
 - c) Reacciones de fusión nuclear por las que el helio se convierte en deuterio.
 - d) Reacciones debidas a los cambios de presión y temperatura del hidrógeno, que acaba combinándose con el oxígeno de su atmósfera.
3. La cantidad de 1353 Watios/m² recibe el nombre de...
 - a) Constante de Einstein.
 - b) Declinación.
 - c) Afelio.
 - d) Constante solar.
4. La mayor parte de la radiación que emite el sol es...
 - a) Ultravioleta.
 - b) Visible.
 - c) Infrarroja.
 - d) Rayos X.
5. Una radiación de 560 nm será
 - a) Ultravioleta.
 - b) Infrarroja.
 - c) Visible.
 - d) Invisible.



6. ¿Cuántos kilómetros tiene la atmósfera terrestre, aproximadamente?
- a) 80.
 - b) 1.800.
 - c) 230.
 - d) 150.
7. ¿Qué día se encuentra la Tierra en el punto más alejado del Sol?
- a) El 3 de enero.
 - b) El 7 de octubre.
 - c) El 4 de abril.
 - d) El 6 de julio.
8. ¿Cuándo coincide el valor de la declinación con el ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de su órbita?
- a) Siempre.
 - b) En el solsticio de verano.
 - c) En el equinoccio.
 - d) Nunca.
9. ¿Cuál será la declinación, calculada mediante la fórmula de Cooper, para el día 13 de mayo?
- a) 18.30
 - b) 21.45
 - c) 23.27
 - d) 23.45
10. ¿Cuál es el valor de la radiación que incide en un ángulo de 78° sobre una superficie de un m^2 situada en el límite exterior de la atmósfera terrestre?
- a) Algo más de 1353 W/m^2 .
 - b) Exactamente 1353 W/m^2 .
 - c) 1353 W/m^2 multiplicado por el coseno de 12° .
 - d) 1353 W/m^2 multiplicado por el seno de 78° .



SOLUCIONES AL EJERCICIO AUTOEVALUABLE DE LA LECCIÓN 3

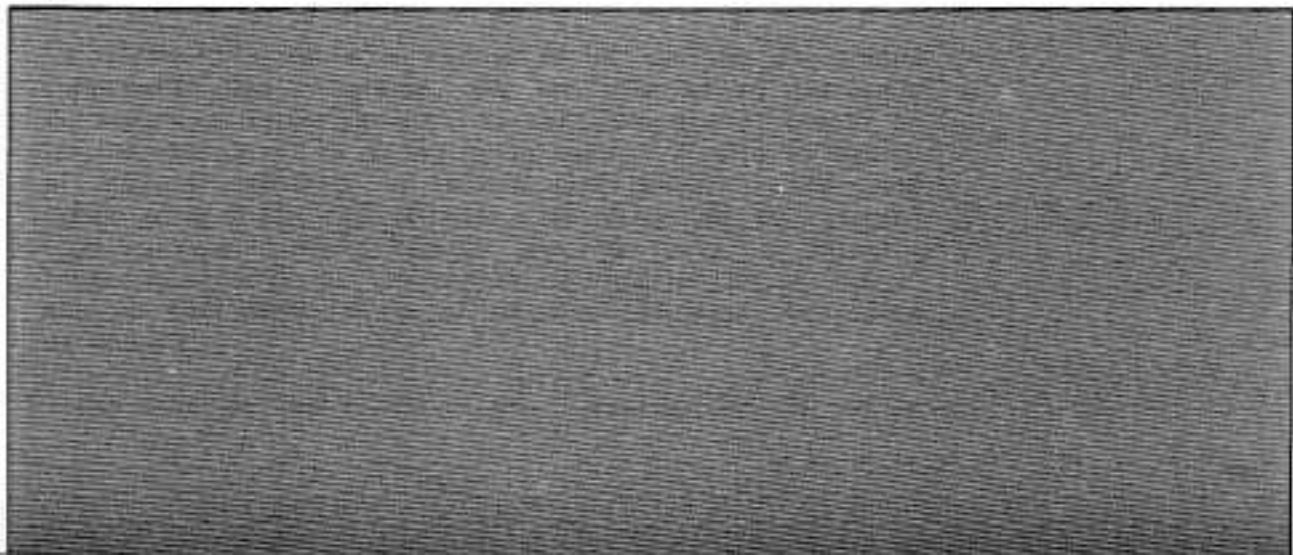
1. Respuesta c). La corona es la atmósfera exterior del Sol, el núcleo es la parte central gaseosa de aquél y el perihelio tiene que ver con la distancia de la Tierra al Sol, no con su estructura.
2. Respuesta c). El hidrógeno mediante una serie de reacciones de fusión se transforma en helio, pasando por una fase previa de deuterio.
3. Respuesta d). Es la constante solar, es decir la potencia que recibe perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado que no se vea desvirtuada por la atmósfera terrestre.
4. Respuesta b). La ultravioleta supone solo un 7% y la infrarroja un 45% frente al 47% de la visible.
5. Respuesta c). Visible nuevamente, por estar comprendida entre 380 nm (color violeta) y 780 nm (color rojo).
6. Respuesta d). La atmósfera terrestre tiene unos 150 km de espesor, como se dijo en el punto correspondiente de la lección.
7. Respuesta d). El 6 de julio la Tierra está en su afelio.
8. Respuesta b). En el solsticio de verano (21-22 de junio) y, por supuesto, también en el de invierno (21-22 de diciembre).
9. Respuesta a). Aplicando la fórmula de Cooper, obtenemos:

$$\begin{aligned}n &= 31+28+31+30+13=133 \\(284+133)/365 &= 1.1425 \\360 \times 1.1425 &= 411.29 \\\text{sen } (411.29) &= 0.7803 \\23.45 \times 0.7803 &= 18.30\end{aligned}$$

10. Respuesta c). Una perpendicular forma con el plano sobre el que incide un ángulo de 90°. La diferencia entre 90° y 78° (valor que se da en el supuesto) es de 12°. Como se ha explicado en la lección, hay que multiplicar la constante solar por el coseno del ángulo formado por la dirección de la radiación y la perpendicular, coseno que no es sino un factor de corrección cuando aquélla no incide de manera absolutamente perpendicular. En ese caso el resultado (1.323) es algo menor que los consabidos 1.353 W/m².



LECCIÓN 4





OBJETIVOS GENERALES

Estudiar el movimiento aparente del Sol y todos los factores relacionados con él para conseguir un mejor aprovechamiento de la energía solar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aprender las características principales de la trayectoria aparente del Sol y los conceptos relacionados con ella: día solar medio, meridiana, mediodía solar, eclíptica...
- Conocer cada uno de los factores que determinan el ángulo de incidencia de la radiación solar: declinación, latitud geográfica, inclinación, orientación y ángulo horario.
- Saber calcular el valor del ángulo de incidencia sobre una superficie plana.



4. EL MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

INTRODUCCIÓN

En la lección anterior hemos visto ya el concepto de ángulo de declinación, sobre el que volveremos a insistir en esta lección dado que es una magnitud poco intuitiva.

En la presente unidad examinaremos también una serie de conceptos geométricos y de astronomía de posición, a fin de obtener la expresión del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie cualquiera.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

Todos sabemos que el **movimiento aparente del Sol** es motivado por la **rotación de la Tierra**, la cual gira sobre su eje en dirección Oeste-Este, provocando que parezca que es el Sol el que se mueve precisamente en la dirección contraria, de Este a Oeste.

La Tierra gira sobre sí misma en un período de tiempo **sumamente fijo y estable**, que tan sólo se ve retrasado en alguna milésima de segundo por siglo por el efecto de las mareas. Como ya se vio en la lección 2, ello es debido al enorme momento de inercia que posee, y que está ligado a la masa del planeta y su velocidad de rotación (que es relativamente rápida). Por lo tanto, el intentar frenar o acelerar el movimiento de rotación de la Tierra, aún en cantidades mínimas, exigiría fabulosas cantidades de energía.

Todos sabemos que la Tierra gira alrededor del Sol en un



período de tiempo de 365 días, aproximadamente, y que gira sobre su eje de rotación en 24 horas. En realidad, esto no es exactamente así: la Tierra gira sobre su eje en un período de tiempo de 23 h 56 m. Transcurrido ese lapso temporal, un punto cualquiera de la Tierra vuelve a estar en la misma posición del espacio que 23 h. 56 m. antes. Este período de tiempo se llama **día sidéreo** y es especialmente importante en Astronomía.

La razón por la que el día solar tiene 24 horas reside en que durante las 23 h. 56 m. que dura el día sidéreo la Tierra ha recorrido un arco de su órbita de casi 1° ($360/365$)°. La Tierra ha dado una vuelta completa sobre sí misma, pero como al mismo tiempo se ha desplazado respecto al Sol, éste no ocupará la misma posición que 23 h. 56 m. antes, sino que habrá que esperar un cierto tiempo más para que el Sol ocupe la misma posición que antes. Este período de tiempo suplementario es de 4 minutos, lo que hace que el **día solar medio** sea de 24 horas (Fig. 1)

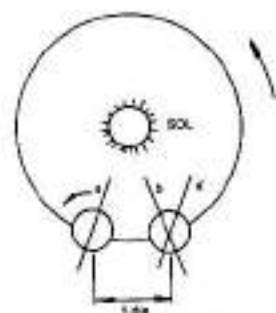


Fig. 1.— Día solar medio. *a* y *a'* corresponden a dos direcciones idénticas respecto al espacio (día sidéreo). Para que la dirección *b* coincida con el Sol como la dirección *a*, la Tierra ha de girar un poco más: exactamente 4 minutos suplementarios, lo que da lugar al día solar medio.

Así pues, el **día solar medio**, que será el que nos interesará en los cálculos de Energía Solar, se compone de 24 horas y lo definiremos como el período de tiempo medio necesario para que el Sol ocupe la misma posición, respecto a una dirección fija.

Llegados a este punto debemos definir el concepto de **meridiana**. La meridiana es una línea imaginaria dirigida en la dirección Norte-Sur. Si situamos una estaca, palo, etc. clavado verticalmente en el suelo y en una superficie plana y horizontal, veremos que la sombra que proyecta varía a lo largo del día. Hay un momento en que la sombra tiene una **longitud mínima**: corresponde al instante en que el Sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte. En este momento la sombra señala la dirección de la meridiana (Norte-Sur geográfico) y el Sol está en el **mediodía solar** (Fig. 2)

El mediodía solar divide al día en dos partes iguales: la mañana y la tarde, ambas de igual duración.

Ahora bien, la simple experiencia nos enseña que el Sol que sale por el lado del Este, no siempre sale o se pone por el mismo sitio. En efecto, en invierno lo veremos salir (en España) por el Sureste y ponerse por el Suroeste. En primavera y otoño, por el contrario, sale por el Este y se pone por el Oeste y en verano sale por el Nordeste

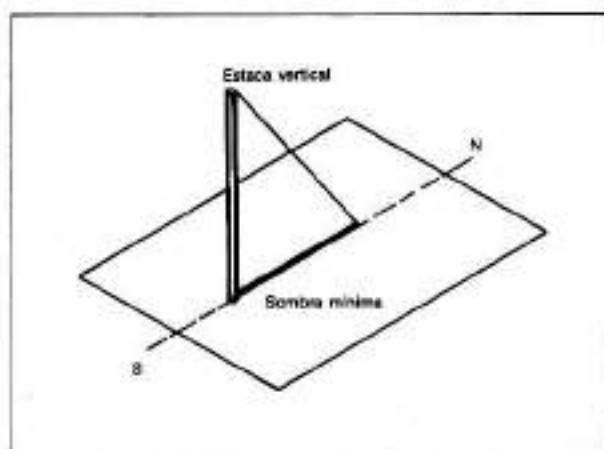


Fig. 2.— Determinación de la meridiana.

y se pone por el Noroeste. Esto hace que el número de horas de sol sea diferente en invierno que en verano y así el tiempo que en España esté el Sol sobre el horizonte es de unas 9 horas en invierno, de 12 horas en primavera y otoño y de 15 horas en verano. Ello es debido como ya vimos en la lección 3, al hecho de que el eje de rotación de la Tierra no coincide con la perpendicular al plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, que daba lugar a la existencia del ángulo de declinación.

La trayectoria aparente que sigue el Sol sobre el firmamento se llama **eclíptica**. La eclíptica es una circunferencia imaginaria, pero nosotros sólo apreciamos un arco de ella, puesto que el horizonte nos impide apreciar el arco que se encuentra debajo de nosotros. (Fig.3)

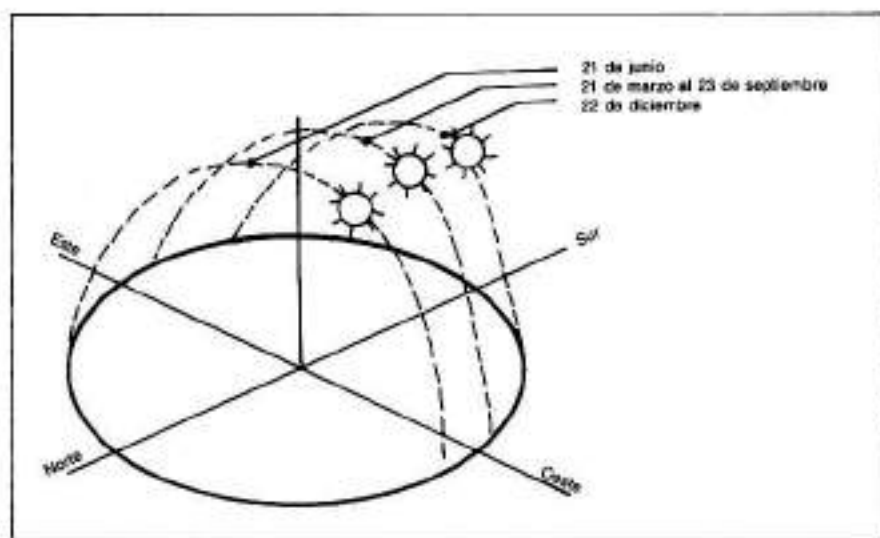


Fig. 3.— Movimiento aparente del Sol en un punto medio de la Tierra.

Dado que la Luna y los demás planetas orbitan el Sol prácticamente en un mismo plano, estos astros también se desplazan aparentemente muy cerca de la eclíptica, cortándola en numerosas ocasiones (a veces están un poco por encima de la eclíptica y otras veces un poco por debajo).

Este hecho nos permite que tengamos una clara visión intuitiva de la posición que ocupará el Sol. Para ello basta que nos situemos mirando hacia el Sur (o hacia el Norte si estuviéramos en el hemisferio Sur). Si estamos en invierno y es de día, el arco apreciable de eclíptica será pequeño, saldrá su trayectoria por el Sureste y alcanzará su punto más alto en la dirección Sur (con poca altura en el horizonte), consecuencia evidente de que el arco de eclíptica es pequeño. Por el contrario, si es de noche y en invierno, el arco de eclíptica es el que no veríamos de día. En consecuencia, será un arco grande, que se inicia por el Nordeste, alcanzará gran altura sobre el horizonte y finalizará en el Noroeste. Sobre este arco veremos, si ocupan esta posición en este momento, a la Luna y los planetas.

En verano ocurre exactamente lo contrario. El arco de eclíptica diurna es grande y el Sol alcanza al llegar al mediodía solar una gran altura sobre el horizonte. En las noches de verano la eclíptica nocturna es pequeña: la Luna y los planetas alcanzan poca altura sobre el horizonte.

Ya hemos visto en la lección 3 la importancia que tiene el que las superficies en las que deba captarse energía solar estén situadas de tal forma que el ángulo de incidencia respecto a la perpendicular a dicha superficie sea lo **menor posible**, al objeto de hacer que el valor del coseno de dicho ángulo adopte su valor mayor y se permita una máxima captación. Por lo tanto, de todo lo expuesto se deduce que los colectores solares debemos situarlos de modo que "vean" el **máximo posible de eclíptica diurna**. En la lección 6 se expondrán detalladamente estos criterios.

ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Un colector plano destinado a la captación de la Energía Solar puede ocupar cualquier posición sobre la superficie de la Tierra y, por ello, el ángulo de incidencia puede

variar notablemente; los factores de que depende este ángulo de incidencia son:

- Declinación _____ d
- Latitud geográfica _____ L
- Inclinación _____ s
- Orientación _____ g
- Ángulo horario _____ w

En efecto, un colector solar puede captar energía un día determinado del año (por lo que corresponderá un ángulo de declinación) y estar situado en un punto cualquiera de la Tierra (que tendrá una cierta latitud). Este colector estará inclinado un cierto ángulo respecto a la horizontal del terreno (ángulo de inclinación) y orientado respecto a la dirección de la meridiana (ángulo de orientación). Finalmente, debido a que el Sol se desplaza aparentemente sobre la eclíptica, el ángulo de incidencia sobre el colector variará a lo largo del día, lo que hace necesario introducir el llamado ángulo horario (Fig. 4). Veamos, pues, estos conceptos detalladamente.

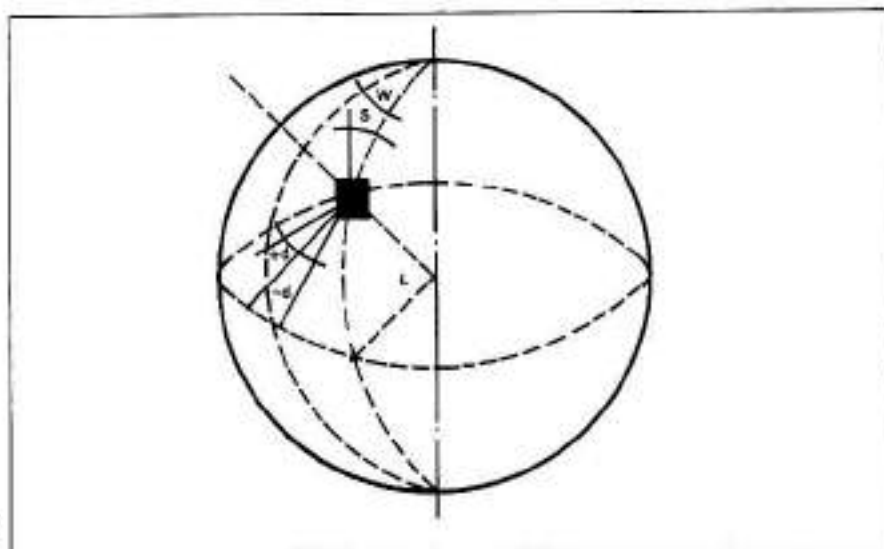


Fig. 4.— Colector solar sobre la superficie terrestre.

DECLINACIÓN

Ya se dijo en la lección anterior que la **declinación** era el ángulo formado por el Sol y el cenit, vistos por un observador situado en el Ecuador en el mediodía solar. Este ángulo depende de factores externos a la posible influencia del hombre. Es por tanto un valor de naturaleza astronómica que depende del día del año en que se



considere. El valor de la declinación se obtiene por la fórmula de Cooper, como ya hemos visto (Fig.5).

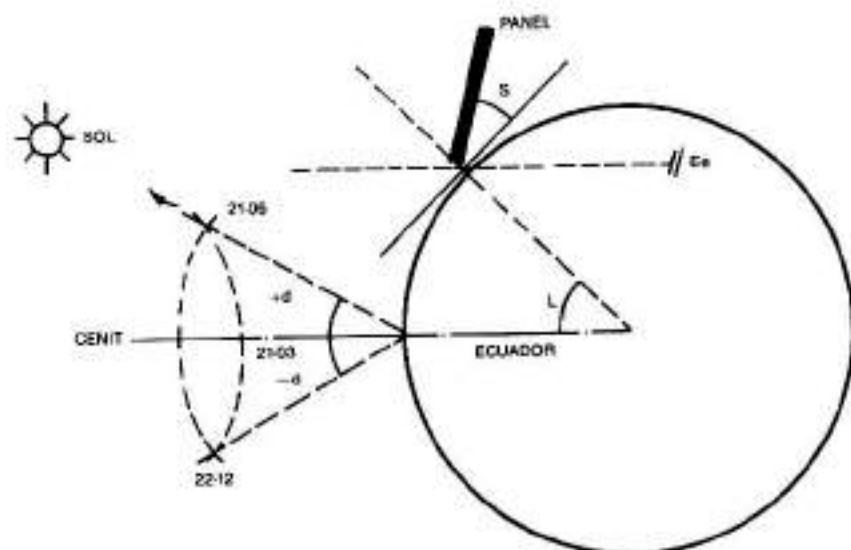


Fig. 5.— *Angulo de declinación.*

LATITUD GEOGRÁFICA

Imaginemos que hacemos un corte en la Tierra por un plano perpendicular al ecuador y que pase por los polos. Existen infinitos planos que cumplen esta condición, pero solo uno de ellos pasará por el lugar donde nos encontramos. Si sobre este plano trazamos un ángulo con vértice en el centro de la Tierra y extremos sobre el ecuador y sobre el lugar donde nos encontramos, éste ángulo es el de la latitud. A los puntos situados sobre el ecuador les corresponde una latitud de 0° y a los polos de 90° . La latitud se conviene en hacerla positiva para el hemisferio Norte y negativa para el hemisferio Sur. (Fig.6).

La **latitud geográfica** viene marcada por las líneas horizontales que tienen todos los mapas, las cuales expresan directamente su valor en grados.

INCLINACIÓN

La **inclinación** de un colector solar es el ángulo formado por éste y la horizontal del terreno. Un colector con ángulo de inclinación nulo estaría colocado en el suelo como si de una alfombra se tratase. Si posee un ángulo

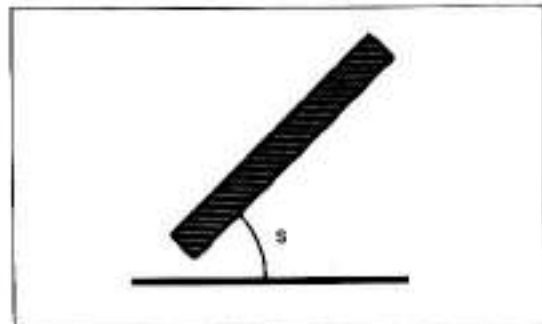
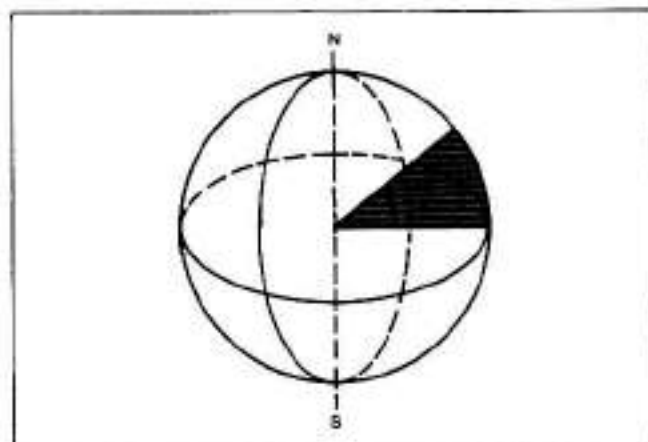


Fig. 6. - Ángulo de latitud.

Fig. 7. - Ángulo de inclinación.

de 90°, estaría situado verticalmente, cual si fuera un cuadro. Entre estos dos valores extremos un colector solar puede adoptar cualquier ángulo. En lo que sigue del Curso a este ángulo lo llamaremos "s".

La inclinación puede medirse fácilmente con una plomada y un transportador de ángulos. (Fig. 7).

ORIENTACIÓN

La **orientación** de un colector solar es el ángulo que forma el plano perpendicular al colector con la dirección de la meridiana. Este ángulo lo llamaremos a lo largo de este Curso "g", y su origen lo tomaremos (si estamos en el hemisferio Norte) hacia el Sur. La orientación puede tener cualquier valor (Norte, Este, Sur, Oeste y valores intermedios).

Normalmente, en el hemisferio Norte se procura que el ángulo de orientación sea lo menor posible (recuérdese que su origen está en el Sur). En estas condiciones el colector está orientado hacia el Sur. Recuérdese que de usar una brújula para medir este ángulo deberemos tener en cuenta el valor de la declinación magnética, que es el ángulo formado entre el Norte verdadero (señalado por la meridiana) y el Norte magnético. Para España este ángulo es pequeño y se puede considerar que la dirección dada por la brújula es similar a la de la meridiana. No obstante, en otros lugares del mundo el valor de la declinación magnética puede ser importante. Por convenio se considera el ángulo de orientación positivo hacia el Este y negativo hacia el Oeste. (Fig.8).

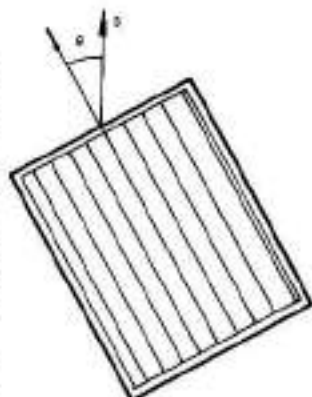


Fig. 8. - Ángulo de inclinación (colector visto desde el aire).



ÁNGULO HORARIO

El **ángulo horario** es el que forma la dirección de la meridiana con la sombra proyectada por una estaca vertical (reloj de sol). El origen se toma en el **mediodía solar** en que el ángulo horario es de 0° . Por convenio se ha acordado que es positivo para antes del mediodía solar (mañana), y negativo para después del mediodía solar (tardes).

Dado que el día tiene 24 horas, 1 hora equivale a un ángulo de $360/24=15^\circ$. Un minuto de tiempo equivale a $15/60=0.25^\circ$. Así, si faltan 2 horas y 35 minutos para el mediodía solar, el ángulo horario será de $2 \text{ h} \times 15^\circ + 35 \times 0.25 = 38.75^\circ$, que como que son antes del mediodía solar consideraremos como positivo.

El ángulo horario se ve afectado por tres circunstancias: la **hora oficial**, **longitud geográfica** y la **ecuación del tiempo**.

La **hora oficial** es aquella impuesta por los gobiernos en función de consideraciones sociales, laborales, de ahorro de energía, etc.

En España tenemos 2 horas oficiales: durante medio año (horario de invierno) llevamos 1 hora de adelanto respecto al llamado **horario solar**; ello quiere decir que el mediodía solar no se produce cuando nuestros relojes marcan las 12 horas, sino una hora más adelante, es decir a las 13 horas. En el horario de verano llevamos 2 horas de adelanto, con lo que el mediodía solar se produce aproximadamente cuando los relojes marcan las 14 horas. En consecuencia, tendremos que **restar** estas 1 ó 2 horas que llevamos de adelanto para obtener el horario solar.

Este horario solar sólo será correcto en aquellos puntos situados en el centro de un huso horario. La Tierra se divide en 24 husos horarios. (En la Península es el meridiano de Greenwich). Estos meridianos se reconocen por el hecho de que son múltiplos de 15° , si se desea aplicar el método a otros países o zonas de diferente huso horario (por ejemplo en Canarias) deberemos tener en cuenta ese factor.

Por lo tanto, una vez hayamos descontado el valor de las horas que llevemos de adelanto (o adicionado las que, en su caso, se lleven de retraso) el Sol pasará por el medio-

día solar en aquellos puntos que coincidan con un meridiano (líneas verticales de los mapas) que sea múltiplo de 15° . Esto ocurrirá en ese momento por ejemplo en Castellón de la Plana, puesto que por esta ciudad pasa el meridiano 0 (de Greenwich). En Barcelona, que está situada a unos 2° al Este, el Sol pasará antes, exactamente un minuto antes por cada 0.25° , y el mediodía solar se producirá cuando sean las 11 h. y 52 m. en horario solar. En Sevilla, por ejemplo, situada a 6° al Oeste del meridiano de Greenwich, el mediodía solar se producirá $6/0.25 = 24$ minutos después, es decir a las 12 h. 24 m. en horario solar (Fig. 9).

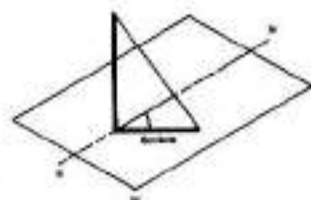


Fig. 9.— Ángulo horario.

Finalmente, estos valores deben corregirse con la llamada **ecuación del tiempo** en función del día del año. Este valor es consecuencia de que la órbita de la Tierra es elíptica y, de acuerdo con la segunda Ley de Kepler, la velocidad de traslación alrededor del Sol es variable, lo que origina que los días no tengan exactamente la misma duración. Ahora bien, como ello sería incompatible con los relojes (que marchan a velocidad constante), se le añade o sustrae una cantidad según el retraso o adelanto que se lleve respecto al día solar medio, de forma que todos los días sean iguales. El hacer todos los días iguales, cuando en realidad no lo son, causa que a veces el Sol pase por el mediodía solar un poco antes o un poco después de lo previsto. Por ello se le ha de sumar o restar ese valor a la ecuación del tiempo, según el día del año. La ecuación del tiempo a lo largo de un año es nula, es decir, la suma de los 365 valores del año es igual a cero.

El **tiempo solar verdadero** es la suma algebraica de la hora solar referida al mediodía solar (12 h. positivo para las mañanas y negativo para las tardes) más el efecto de la longitud referida al meridiano central del huso horario, más la ecuación del tiempo.

El **ángulo horario** w expresará el valor del tiempo solar verdadero en grados, efectuando la conversión adecuadamente con la ya sabida relación:

1 hora	= 15°	1°	= 4 minutos de tiempo
1 minuto			
de tiempo	= 0.25°	$1'$	= 4 segundos de tiempo

Los segundos de tiempo pueden despreciarse, redondeándolos al minuto superior o inferior, según sean inferiores o superiores a 30 segundos.

ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA

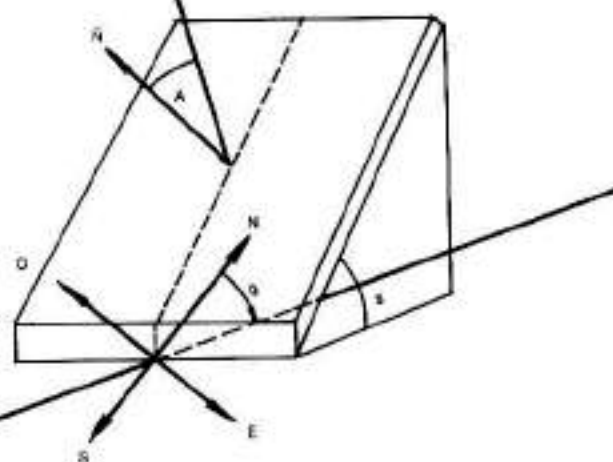
El valor del ángulo de incidencia sobre la normal a una superficie plana es el dado por la siguiente fórmula, en función de los diversos parámetros estudiados anteriormente. Esta expresión vale (Fig.10):

$$A = \cos^{-1} \left(\begin{aligned} & \sin d \times \sin L \times \cos s \\ & - \sin d \times \cos L \times \sin s \times \cos g \\ & + \cos d \times \cos L \times \cos s \times \cos w \\ & + \cos d \times \sin L \times \sin s \times \cos w \times \cos g \\ & + \cos d \times \sin s \times \sin g \times \sin w \end{aligned} \right)$$

La expresión puede simplificarse si la orientación es Sur ($g=0^\circ$) (caso frecuente), quedando:

$$A = \cos^{-1} (\cos(L-s) \times \cos d \cos w + \sin(L-s) \sin d)$$

La larga expresión de la ecuación general favorece que se calcule **por ordenador**, especialmente si se desean obtener muchos valores diferentes.



- N = normal al selector
- s = ángulo de inclinación
- g = ángulo de orientación
- A = ángulo de incidencia

Fig. 10.— Representación gráfica de los ángulos de inclinación, orientación e incidencia.



EJEMPLO:

Calcular el ángulo de incidencia que presenta un colector solar el día 13 de febrero en Sta. Cruz de Tenerife a las 14 h 16 minutos (hora local), que está inclinado 35° y con una orientación de 15° hacia el Este.

Solución: Debemos encontrar los valores de:

- Declinación mediante la fórmula de Cooper
- Latitud geográfica en un mapa o atlas
- Inclinación 35° (dato)
- Orientación 15° (dato)
- Ángulo horario
- Longitud
- Ecuación del tiempo

En un mapa o atlas encontramos los valores de latitud y longitud geográficas para Sta. Cruz de Tenerife:

- Latitud $28^\circ 30'$ Norte
- Longitud $16^\circ 15'$ Oeste

Hallamos el valor del ángulo de declinación. El día 13 de febrero es el día 44 del año (31 días de enero + 13 de febrero)

$$d = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+44}{365} \right) = -13.95^\circ$$

$23.45 \times (-0.5948) = -13.95$. Aquí el valor del seno da un resultado negativo, como sucede con todos los ángulos que exceden de 180° y no llegan a 360° . Los ángulos entre cero y 180° tienen un seno positivo, y para 0° y 360° el valor del seno es nulo, es decir, cero.

El valor de la latitud geográfica de $28^\circ 30'$ lo expresaremos en unidades decimales. Sabemos que $60'$ equivalen a 1° , luego $30'$ serán $0,5^\circ$. Por lo tanto, el valor de la latitud geográfica será de $28,5^\circ$ Norte.

La inclinación y la orientación son datos conocidos. Recordemos que la orientación es positiva por estar hacia el Este.

La hora local son las 14 h 16 min. Esta hora es la que marcan los relojes locales (pero no los de la Península, que marcarán una hora más) y está referida, en este caso, al primer huso horario cuyo eje es el meridiano de 15° Oeste. La diferencia de longitudes entre este meridiano y la longitud de la ciudad de Sta. Cruz de Tenerife es de $16^\circ 15' - 15^\circ = 1^\circ 15'$ Oeste. Es decir, Sta. Cruz de Tenerife está situada a $1^\circ 15'$ más hacia el Oeste. Convertimos este $1^\circ 15'$ en unidades decimales.



$$1.25 \text{ Oeste} = 4 + 1 = 5 \text{ minutos de tiempo}$$

La ecuación del tiempo para este día (13 de febrero) es de -14 minutos 18 segundos. Como 18 segundos es menor que treinta, los despreciamos, si fuera igual o mayor de 30 incrementaríamos una unidad los minutos. Convertimos este valor de -14' en grados = $-14 \times 0,25 = -3,5^\circ$

Convertimos la hora local en hora solar, sabiendo que se lleva una hora de adelanto (horario de invierno), en consecuencia restamos 1 hora.

Podemos hacer los cálculos así:

- 1º Hallar la hora solar
- 2º Hallar el tiempo solar verdadero

Hallamos la hora solar:

Hora oficial	14h	16 min
Restamos la hora de adelanto	-1h	0 min
HORA SOLAR	13h	16 min

Hallamos el tiempo solar verdadero:

Hora solar (con signo menos por ser por la tarde)	-13h	-16 min.
Sumamos 12 h (para referirla a mediodía solar)	+12h	0 min.
Sumamos (por estar hacia el Oeste del meridiano de referencia (15ºW) el efecto de la longitud $1.25^\circ = 5$ minutos de tiempo.	+ 0h	+ 5 min.
Sumamos la ecuación del tiempo.	- 0h	-14 min.
TIEMPO SOLAR VERDADERO:	- 1h	-25 min.

Este valor, convertido en grados, es de $-21-25^\circ$. Este valor es el que corresponde al ángulo horario w.

En consecuencia, aplicando la fórmula del ángulo de incidencia para los valores hasta aquí obtenidos, tendremos el siguiente planteo y resultado.



$$\begin{aligned}
 \cos A &= \sin 13.95^\circ \sin 28.5^\circ \cos 35^\circ \\
 &+ \sin 13.95^\circ \cos 28.5^\circ \sin 35^\circ \cos 15^\circ \\
 &+ \cos 13.95^\circ \cos 28.5^\circ \cos 35^\circ \cos 21.25^\circ \\
 &+ \cos 13.95^\circ \sin 28.5^\circ \sin 35^\circ \cos 21.25^\circ \cos 15^\circ \\
 &+ \cos 13.95^\circ \sin 35^\circ \sin 15^\circ \sin 21.25^\circ
 \end{aligned}$$

$$\cos A = 0.861$$

$$A = \cos^{-1}(0.861) = 30.55^\circ$$

La radiación solar incide sobre la superficie con un ángulo de 30.55° .



DATOS DE INTERÉS

ALTITUD, LATITUD Y LONGITUD

Ciudad	Altitud	Latitud	Longitud
Albacete	586	39° 00'	2° 55'W
Alicante	7	38° 21'	0° 30'W
Almería	65	36° 51'	2° 30'W
Ávila	1.125	40° 39'	4° 40'W
Badajoz	186	38° 53'	6° 55'W
Barcelona	95	41° 24'	2° 10'E
Bilbao	32	43° 18'	3° 57'W
Burgos	929	42° 20'	3° 45'W
Cáceres	459	39° 29'	6° 25'W
Cádiz	28	36° 28'	6° 17'W
Castellón	27	39° 58'	0° 02'W
Ciudad Real	628	38° 09'	3° 55'W
Córdoba	128	37° 53'	4° 45'W
Coruña	54	43° 22'	8° 27'W
Cuenca	949	40° 05'	2° 10'W
Gerona	95	41° 50'	2° 50'E
Granada	775	37° 11'	3° 35'W
Guadalajara	1.017	40° 38'	3° 10'W
Huelva	4	37° 16'	6° 57'W
Huesca	488	42° 08'	0° 25'W
J León	586	37° 46'	3° 48'W
Las Palmas	6	28° 11'	15° 25'W
León	908	42° 35'	5° 35'W
Lérida	323	41° 41'	0° 35'E
Logroño	380	42° 28'	2° 25'W
Lugo	465	43° 00'	7° 32'W
Madrid	667	40° 25'	3° 40'W
Málaga	40	36° 43'	4° 25'W
Murcia	42	37° 59'	1° 08'W
Orense	250	42° 17'	7° 50'W
Oviedo	232	43° 22'	5° 50'W
Palencia	734	42° 00'	4° 32'W
Palma de Mallorca	28	39° 34'	2° 40'E
Pamplona	734	42° 00'	1° 40'W
Pontevedra	19	42° 26'	8° 38'W
Salamanca	803	40° 58'	5° 40'W
Santander	89	43° 28'	4° 50'W
San Sebastián	181	43° 19'	1° 59'W
Santa Cruz de Tenerife	37	28° 28'	16° 25'W
Segovia	1.002	40° 57'	4° 05'W
Sevilla	30	37° 23'	5° 55'W
Soria	1.083	41° 46'	2° 30'W
Tarragona	60	41° 07'	1° 15'E
Teruel	915	40° 21'	1° 05'W
Toledo	540	39° 51'	4° 02'W
Valencia	10	39° 29'	0° 25'W
Valladolid	694	41° 39'	4° 42'W
Vitoria	542	42° 51'	2° 40'W
Zamora	649	41° 30'	5° 45'W
Zaragoza	200	41° 39'	0° 52'W

W=OESTE

E=ESTE

Todas las latitudes son NORTE



ECUACIÓN DEL TIEMPO

Valores de la ecuación del tiempo en función del día del año. Este valor se adiciona en el cálculo del ángulo horario:

DÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	DÍA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	m. s.	m. s.	m. s.	m. s.	m. s.	m. s.		m. s.	m. s.	m. s.	m. s.	m. s.	m. s.
1	-3 23	-13 35	-12 31	-4 4	+2 53	+2 23	1	-3 36	-5 16	-0 9	+10 8	+16 31	+11 9
2	-3 51	-13 43	-12 19	-3 45	+3 0	+2 14	2	-3 48	-5 13	+0 10	+10 27	+16 23	+10 46
3	-4 19	-13 50	-12 7	-3 29	+3 7	+2 5	3	-3 59	-5 9	+0 29	+10 46	+16 34	+10 23
4	-4 47	-13 57	-11 55	-3 11	+3 13	+1 55	4	-4 10	-5 4	+0 48	+11 5	+16 24	+10 0
5	-5 14	-14 2	-11 42	-2 53	+3 19	+1 45	5	-4 21	-5 58	+1 8	+11 23	+16 23	+9 36
6	-5 41	-14 7	-11 29	-2 36	+3 24	+1 34	6	-4 32	-5 52	+1 28	+11 41	+16 21	+9 11
7	-6 7	-14 11	-11 15	-2 19	+3 29	+1 23	7	-4 42	-5 46	+1 48	+11 59	+16 19	+8 45
8	-6 23	-14 14	-11 0	-2 2	+3 33	+1 12	8	-4 52	-5 39	+2 9	+12 16	+16 16	+8 19
9	-6 58	-14 16	-10 45	-1 45	+3 36	+1 1	9	-5 1	-5 31	+2 29	+12 33	+16 12	+7 25
10	-7 23	-14 18	-10 30	-1 29	+3 39	+0 49	10	-5 9	-5 22	+2 50	+12 49	+16 7	+7 25
11	-7 47	-14 19	-10 14	-1 13	+3 41	+0 37	11	-5 18	-5 13	+3 11	+13 5	+16 16	+6 59
12	-8 11	-14 19	-9 58	-0 57	+3 43	+0 25	12	-5 26	-5 3	+3 32	+13 21	+15 54	+6 32
13	-8 31	-14 18	-9 42	-0 41	+3 44	+0 13	13	-5 33	-4 53	+3 53	+13 36	+15 46	+6 4
14	-8 57	-14 16	-9 26	-0 25	+3 45	+0 1	14	-5 40	-4 42	+4 15	+13 50	+15 38	+5 35
15	-9 18	-14 14	-9 9	-0 10	+3 45	-0 12	15	-5 47	-4 31	+4 36	+14 4	+15 29	+5 6
16	-9 38	-14 11	-8 52	-0 5	+3 45	-0 25	16	-5 53	-4 19	+4 57	+14 18	+15 19	+4 38
17	-9 59	-14 7	-8 36	+0 19	+3 44	-0 38	17	-5 59	-4 7	+5 19	+14 31	+15 8	+4 9
18	-10 19	-14 2	-8 17	+0 33	+3 42	-0 51	18	-6 4	-3 54	+5 40	+14 43	+14 56	+3 39
19	-10 38	-13 57	-7 58	+0 46	+3 40	-1 4	19	-6 8	-3 41	+6 1	+14 54	+14 43	+3 13
20	-10 56	-13 51	-7 42	+0 59	+3 37	-1 17	20	-6 12	-3 27	+6 23	+15 5	+14 29	+2 43
21	-11 14	-13 45	-7 24	+1 12	+3 34	-1 30	21	-6 16	-3 13	+6 44	+15 15	+14 15	+2 10
22	-11 30	-13 28	-7 6	+1 25	+3 30	-1 43	22	-6 19	-2 58	+7 5	+15 25	+14 0	+1 40
23	-11 48	-13 30	-6 48	+1 37	+3 26	-1 56	23	-6 21	-2 43	+7 26	+15 34	+13 24	+1 10
24	-12 2	-13 21	-6 29	+1 48	+3 21	-2 8	24	-6 23	-2 37	+7 47	+15 42	+13 17	+0 40
25	-12 16	-13 12	-6 11	+1 59	+3 15	-2 22	25	-6 24	-2 11	+8 8	+15 49	+13 8	+0 10
26	-12 30	-13 3	-5 53	+2 9	+3 10	-2 34	26	-6 25	-1 55	+8 28	+15 56	+12 51	-0 23
27	-12 43	-12 53	-5 35	+2 19	+3 3	-2 47	27	-6 25	-1 39	+8 48	+16 2	+12 32	-0 50
28	-12 55	-12 42	-5 16	+2 29	+2 56	-3 0	28	-6 24	-1 23	+8 9	+16 7	+12 13	-1 19
29	-13 6		-4 58	+2 37	+2 49	-3 12	29	-6 23	-1 4	+9 29	+16 12	+11 52	-1 49
30	-13 16		-4 40	+2 45	+2 41	-3 24	30	-6 21	-0 48	+9 49	+16 16	+11 31	-2 19
31	-13 26		-4 22		+2 32		31	-6 19	-0 28		+16 19		-2 47

PROGRAMA PARA OBTENER EL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA

10 ' CÁLCULO DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

11 ' SOBRE UN COLECTOR. (C) J.Ribot

20 $PI = 3.141516$

21 $r = PI / 180$ ' Conversión de grados en radianes

30

```

31 'Cálculo del ángulo de declinación
32 '
40 input "DIA ?", i
50 input "MES ? (Del 1 al 12) ", m
60 x = 0
70 for n = 1 to m
80   read y
90   x = x + y
100 next n
110 v = x + 1
120 d = 23.45 * sin((360 * (284 + v)) / 365) * r
140 print "LATITUD GEOGRAFICA? (los minutos se ponen como decimales)."
150 input "El norte es positivo? ", l
160 '
161 'Conversión de minutos en fracciones decimales
162 '
165 if l >= 0 then l1 = l - int(l): l2 = 100 * l1 / 60: l = int(l) + l2: goto 180
170 l1 = l - (l - int(l)): l2 = l1 * 100 / 60: l = int(l) + l1 - l2
180 input "ANGULO DE INCLINACION DEL COLECTOR? (Sin decimales) ", s
190 print "ANGULO DE ORIENTACION DEL COLECTOR? "
191 input "(Positivo hacia el Este. Sin decimales): ", g
192 input "HORA OFICIAL? (Los minutos se ponen como decimales): ", h
193 input "HORAS DE ADELANTO? ", a
200 print "LONGITUD GEOGRAFICA? (Los minutos se ponen como decimales)"
201 input "(El Oeste es positivo)", o
230 if o >= 0 then o1 = o - int(o): o2 = 100 * o1 / 60: o = int(o) + o2: goto 250
240 o1 = o - (o - int(o)): o2 = o1 * 100 / 60: o = int(o) + o1 - o2
250 input "HUSO HORARIO? (Positivo hacia el Oeste)", u
260 input "VALOR DE LA ECUACION DEL TIEMPO? ", t
270 h = 12 - h
271 if h >= 0 then h1 = h - int(h): h2 = 100 * h1 / 60: h = int(h) + h2: goto 290
280 h1 = h - (h - int(h)): h2 = h1 * 100 / 60: h = int(h) + h1 - h2
290 h3 = h + a: h4 = h3 * 15
300 u = u - (15 * u)
310 t1 = abs(t): t4 = t1 - int(t1)
311 if t4 >= 0.36 then t2 = t1 + 1: goto 330
320 t2 = int(t1)
330 if sgn(t) = -1 then t2 = -t2
340 t3 = t2 * 0.25
350 w = h4 + o + t3
360 b = (sin(d * r) * sin(l * r) * cos(s * r))
361 b = b - (sin(d * r) * cos(l * r) * sin(s * r) * cos(g * r))
362 b = b + (cos(d * r) * cos(l * r) * cos(s * r) * cos(w * r))
363 b = b + (cos(d * r) * cos(g * r))
364 b = b + (cos(d * r) * sin(s * r) * sin(g * r) * sin(w * r))
365 x = b / r
366 x = 1.570796 - atn(x / sqrt(1 - x * x))
370 print "ANGULO DE INCIDENCIA = "; x
5000 DATA 0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 30, 31, 30

```



RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- La rotación de la Tierra sobre sí misma produce el movimiento aparente del Sol. La Tierra da una vuelta completa sobre su eje en 23 h 56 m. Este período se conoce como día sidéreo.
- Además, la Tierra gira alrededor del Sol en 365 días, rotación que añade al día sidéreo 4 minutos suplementarios. Así, el día solar medio es de 24 horas.
- La trayectoria "imaginaria" que describe el Sol en su desplazamiento aparente recibe el nombre de eclíptica. El colector solar se debe colocar de forma que "vea" el máximo posible de eclíptica diurna.
- El ángulo de incidencia depende de los siguientes factores: declinación (d), latitud geográfica (L), inclinación (s), orientación (g) y ángulo horario (w).
- El ángulo de declinación se obtiene mediante la fórmula de Cooper y varía según el día del año. La latitud geográfica sitúa el colector solar en un punto concreto de la Tierra. Se expresa su valor en grados.
- Otros factores que afectan al ángulo de incidencia son la inclinación del colector respecto a la horizontal del terreno y su orientación respecto a la dirección de la meridiana, que es una línea imaginaria trazada en dirección Norte-Sur.
- Por su parte, el ángulo horario varía lógicamente a lo largo del día. Este factor se ve a su vez condicionado por la hora oficial, la longitud geográfica y la ecuación del tiempo.



AUTOEVALUACIÓN DE LA LECCIÓN 4

1. ¿Qué movimiento/s realiza la Tierra?
 - a) Sólo gira alrededor del Sol.
 - b) Gira sobre su eje de Oeste a Este, a la vez que rodea el Sol.
 - c) Sólo gira sobre sí misma de Oeste a Este.
 - d) Gira sobre su eje de Este a Oeste y, a la vez, rodea el Sol.

2. En verano, el Sol (en España)...
 - a) Sale por el Nordeste, se pone por el Noroeste y la eclíptica diurna es grande.
 - b) Sale por el Sureste, se pone por el Suroeste y la eclíptica diurna es pequeña.
 - c) Sale de oeste a este y no hay eclíptica.
 - d) Sale por el Este, se pone por el Oeste y eclíptica es pequeña.

3. La meridiana...
 - a) Divide el día en dos partes iguales: mañana y tarde.
 - b) Es la trayectoria aparente que describe el Sol en el firmamento.
 - c) Es una línea imaginaria trazada en dirección Norte-Sur.
 - d) Indica el grado de inclinación del colector solar respecto al terreno.

4. De qué factores depende el ángulo de incidencia de la radiación solar?
 - a) Eclíptica diurna, eclíptica nocturna, meridiana, inclinación, y hora.
 - b) Orientación, ángulo horario, declinación, inclinación y latitud geográfica.
 - c) Ecuación del tiempo, eclíptica, orientación, día sidéreo y ángulo horario.
 - d) No depende de ningún factor.

5. ¿Qué valor obtenemos con la fórmula de Cooper?
 - a) La inclinación.
 - b) La orientación.
 - c) El ángulo horario.
 - d) La declinación.



6. En el hemisferio Norte, el ángulo de orientación debe tener su origen en:
- a) El Norte.
 - b) El Este.
 - c) El Sur.
 - d) El Oeste.
7. ¿Cómo está colocado un colector solar si su ángulo de inclinación respecto al terreno es nulo?
- a) Extendido sobre el suelo.
 - b) Perpendicular al suelo.
 - c) Oblicuo al suelo.
 - d) El ángulo de inclinación no puede ser nulo.
8. ¿Cuál es la latitud geográfica de un punto situado sobre el ecuador?
- a) 90°
 - b) 1°
 - c) -50°
 - d) 0°
9. ¿Cuándo es negativo el ángulo horario?
- a) Antes del mediodía solar.
 - b) Durante el mediodía solar.
 - c) Después del mediodía solar.
 - d) El ángulo horario no puede ser negativo.
10. ¿Qué tres factores condicionan el valor del ángulo horario?
- a) La ecuación del tiempo, la hora oficial y la longitud geográfica.
 - b) La hora oficial, la meridiana y la eclíptica.
 - c) La inclinación, la longitud geográfica y el ángulo de incidencia.
 - d) La ecuación del tiempo, la eclíptica y la declinación.



SOLUCIONES AL EJERCICIO AUTOEVALUABLE DE LA LECCIÓN 4

1. Respuesta b). La Tierra, a la vez que gira sobre sí misma en dirección Oeste-Este, recorre una órbita alrededor del Sol. Una vuelta completa sobre su eje dura 24 horas mientras que para rodear el Sol necesita 365 días, aproximadamente.
2. Respuesta a). Efectivamente, en verano el Sol surge por el Nordeste ocultándose por el Noroeste. Igualmente en verano, el arco de la eclíptica diurna es mayor que en invierno. Al mediodía, el Sol alcanza una altura considerable respecto al horizonte.
3. Respuesta c). Las demás opciones se corresponden al mediodía solar (a), la eclíptica (b) y la inclinación (d).
4. Respuesta b). Los cinco factores que se han de tener en cuenta para conocer el ángulo de incidencia son: la orientación, el ángulo horario, la declinación, la inclinación y la latitud geográfica.
5. Respuesta d). Con la fórmula de Cooper obtenemos el valor de la declinación, factor que depende del día del año que se tenga en cuenta.
6. Respuesta c). El ángulo de orientación de un colector solar situado en el hemisferio Norte, debe ser lo menor posible además de tener su origen en el Sur.
7. Respuesta a). El ángulo de inclinación es el que forma el colector con la horizontal del terreno sobre el que está situado. Si el ángulo es de 90° , el colector está situado verticalmente, si el ángulo es nulo quiere decir que no hay inclinación; por tanto, el colector estará tumbado sobre el terreno.
8. Respuesta d). Los puntos situados en el Ecuador tienen latitud 0 mientras que los situados en los polos tienen una latitud de 90° . En los mapas, las latitudes se representan mediante líneas horizontales.
9. Respuesta c). El ángulo horario en el mediodía solar es de 0° , antes del mediodía solar es positivo, después del mediodía solar es negativo.
10. Respuesta a). En el cálculo del ángulo horario intervienen tres factores, que son: la hora oficial, la longitud geográfica y la ecuación del tiempo.