



**GUIA M-5**

**METODOLOGIA DE CONVERSION DE UNIDADES**

Octubre, 2004

## TABLA DE CONTENIDO

1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	1
2.	SISTEMAS DE UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSION.....	1
2.1	Sistema internacional de unidades (S.I.) .....	1
Tabla No. 1:	Definición de las unidades básicas del S.I.....	3
Tabla No. 2:	Unidades derivadas del S.I. ....	4
Tabla No. 3:	Unidades no métricas permitidas por el S.I.....	6
Tabla No. 4:	Prefijos del Sistema Internacional .....	6
2.2	Equivalencia entre el S.I. y otros sistemas de unidades .....	7
Tabla No. 5:	Unidades básicas en diferentes sistemas de unidades .....	8
Tabla No. 6:	Factores de conversión de unidades básicas y derivadas .....	8
2.3	Equivalencia entre las unidades energéticas comúnmente utilizadas en los países miembros de OLADE. ....	9
3.	FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES FISICAS A CALORICAS ...	10
Tabla No. 7:	Poder calorífico inferior de algunos combustibles .....	11
Tabla No. 8:	Equivalencia en Bep de algunas unidades utilizadas en OLADE .....	11
Tabla No. 9:	Factores de conversión usados por los países miembros de OLADE	12
Tabla No. 10:	Factores de conversión para unidades energéticas comunes de OLADE.....	12
4.	FACTORES DE EFICIENCIA TERMICA DE LAS INSTALACIONES ENERGETICAS.....	13
4.1	Energía térmica útil .....	13
4.2	Eficiencia en centrales termoeléctricas convencionales.....	13
Tabla No. 11:	Eficiencias típicas de las centrales termoeléctricas convencionales. ....	14
5.	FACTORES DE EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	14
Tabla No. 12:	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> .....	15
Tabla No. 13:	Factores de emisión de CO .....	16
Tabla No. 14:	Factores de emisión de NO <sub>x</sub> .....	17
Tabla No. 15:	Factores de emisión de hidrocarburos .....	18
Tabla No. 16:	Factores de emisión de óxidos de azufre.....	19
Tabla No. 17:	Factores de emisión de partículas.....	20

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

El SIEN, debe ser una herramienta versátil, capaz de adaptarse a las diferentes formas de recopilar y registrar la información y a los sistemas de unidades tradicionalmente utilizados en los países de la región, por lo que se ha incluido en su estructura informática un módulo de conversión de unidades.

El módulo de conversión de unidades, tiene tres funciones principales:

- a) Trasladar los datos recopilados en las fuentes de información, que pudieran estar en diferentes sistemas de unidades, al sistema utilizado por el SIEN, mediante factores estandarizados de conversión.
- b) Convertir la información de volumen o masa de los energéticos (unidades físicas) a unidades de energía (unidades calóricas) mediante el poder calorífico inferior. Dado que el poder calorífico se expresa en unidades de energía sobre unidades de masa, es necesario utilizar la densidad para trasladar las unidades volumétricas a unidades másicas.
- c) Convertir las unidades calóricas o energéticas a unidades de emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando los factores de emisión calculados mediante las dos metodologías expuestas en la Guía SIEN M-3.

## 2. SISTEMAS DE UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSION

### 2.1 Sistema internacional de unidades (S.I.)<sup>1</sup>

Luego de sucesivas propuestas y modificaciones, los científicos de fines del Siglo XVIII, lograron diseñar el Sistema Métrico Decimal basado en parámetros relacionados con fenómenos físicos y notación decimal, y hubieron de lidiar con la resistencia al cambio de los antiguos sistemas medievales de referencias antropológicas y subdivisiones en mitades sucesivas, a los modernos; la comunidad científica de la segunda mitad del Siglo XX, debió encarar la adopción de un nuevo sistema de medidas de mayor precisión en cuanto a la referencia con fenómenos físicos de sus unidades fundamentales, adaptado a los crecientes avances de la ciencia, y que a la vez tuviese la amplitud y universalidad suficientes, para abarcar las necesidades evidenciadas en la proliferación de subsistemas surgidos como necesidad particular de las distintas ramas de la ciencia.

#### Conferencia general de pesas y medidas

La Conferencia General de Pesas y Medidas, que ya en 1948 había establecido el Joule (J) como unidad de energía ( $1 \text{ Cal} = 4,186 \text{ J}$ ), en la 10<sup>a</sup> Conferencia (1954) adoptó el Sistema MKSA (metro, kilogramo masa, segundo, ampere), preexistente -originado en la propuesta del Profesor G. Giorgi de 1902-, en el cual se incluyó el Kelvin (K) y la Candela (cd), como unidades de temperatura e intensidad luminosa respectivamente.

---

<sup>1</sup> Referencia: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Cinemática y Dinámica

### Consagración del S.I.

La 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas, en sus sesiones de octubre de 1960 celebradas en París, cuna del Sistema Métrico Decimal, estableció definitivamente el Sistema Internacional de Medidas (S.I.), basado en 6 unidades fundamentales -metro, kilogramo, segundo, ampere, Kelvin, candela-, perfeccionado y completado posteriormente en las 12ª, 13ª y 14ª Conferencias, agregándose en 1971 la séptima unidad fundamental, la mol, que mide la cantidad de materia.

### Sistema coherente

Para una comunicación científica apropiada y efectiva, es esencial que cada unidad fundamental de magnitudes de un sistema, sea especificada y reproducible con la mayor precisión posible. El modo ideal de definir una unidad es en términos referidos a algún fenómeno natural constante e invariable de reproducción viable, por ejemplo, una longitud de onda de una fuente de luz monocromática. Pueden elegirse arbitrariamente las unidades para cada magnitud, en la medida en que estén vinculadas por relaciones matemáticas a las unidades base, las que deben estar definidas unívocamente. Limitando la cantidad de unidades base, se logra considerable simplicidad en el sistema. Las unidades base son llamadas "fundamentales" y todas las demás "derivadas". Un sistema de unidades configurado con estas características, se define como un "sistema coherente".

**Tabla No. 1: Definición de las unidades básicas del S.I.**

Magnitud física	Unidad	Símbolo	Definición de la unidad
Longitud	metro	m	En 1889 se definió el <i>metro patrón</i> como la distancia entre dos finas rayas de una barra de aleación platino-iridio que se encuentra en el Museo de Pesas y Medidas de París. El interés por establecer una definición más precisa e invariable llevó en 1960 a definir el metro como "1,650,763.73 veces la longitud de onda de la radiación rojo naranja (transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ ) del átomo de criptón 86 ( $^{86}\text{Kr}$ )" A partir de 1983 se define como " la distancia recorrida por la luz en el vacío en $1/299,792,458$ segundos"
Masa	kilogramo	kg	En la primera definición de kilogramo fue considerado como " la masa de un litro de agua destilada a la temperatura de $4^{\circ}\text{C}$ " . En 1889 se definió el <i>kilogramo patrón</i> como "la masa de un cilindro de una aleación de platino e iridio que se conserva en el Museo de Pesas y Medidas en París". En la actualidad se intenta definir de forma más rigurosa, expresándola en función de las masas de los átomos.
Tiempo	segundo	s	La unidad <i>segundo patrón</i> . Su primera definición fue: "el segundo es la $1/86,400$ parte del día solar medio". Pero con el aumento en la precisión de medidas de tiempo se ha detectado que la Tierra gira cada vez más despacio (alrededor de 5ms por año), y en consecuencia se ha optado por definir el segundo en función de constantes atómicas. Desde 1967 se define como "la duración de $9.192.631.770$ períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado natural del átomo de cesio-133".
Corriente eléctrica	ampere	A	La magnitud de la corriente que fluye en dos conductores paralelos, distanciados un metro entre sí, en el vacío, que produce una fuerza entre ambos conductores (a causa de sus campos magnéticos) de $2 \times 10^{-7}$ N/m.
Temperatura	kelvin	K	La fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.
Intensidad luminosa	candela	cd	La intensidad luminosa, en dirección perpendicular, de una superficie de $1/600,000$ $\text{m}^2$ de un cuerpo negro a la temperatura de congelamiento del platino ( $2,042^{\circ}\text{K}$ ), bajo una presión de $101,325$ $\text{N}/\text{m}^2$ .
Cantidad de substancia	mol	mol	La cantidad de substancia de un sistema que contiene un número de entidades elementales igual al número de átomos que hay en $0,012$ Kg de carbono-12.

**Tabla No. 2: Unidades derivadas del S.I.**

Magnitud	Unidad	Símbolo	En términos de otras unidades
Ángulo plano	radián	rad	
Ángulo Sólido	esterradián	sr	
Superficie	metro cuadrado	m <sup>2</sup>	
Volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>	
Frecuencia	hertz	Hz	
Densidad	kilogramo entre metro cúbico	Kg/m <sup>3</sup>	
Velocidad	metro por segundo	m/s	
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s	
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s <sup>2</sup>	
Aceleración angular	radián por segundo al cuadrado	rad/s <sup>2</sup>	
Fuerza	newton	N	1 N = 1 kg m/s <sup>2</sup>
Presión (tensión mecánica)	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s	(m)(m)
Viscosidad dinámica	newton-segundo por metro <sup>2</sup>	N s/m <sup>2</sup>	
Trabajo, energía, cantidad de calor	Joule	J	1 J = 1 N m
Potencia	watt	W	1 W = 1 J/s
Carga eléctrica	coulomb	C	1 C = 1 A s
Tensión eléctrica, diferencia de potencial, fuerza electromotriz	volt	V	1 V = 1 W/A
Intensidad de campo eléctrico	volt por metro	V/m	
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	1 = 1 V/A

Conductancia eléctrica	siemens	S	$1 \text{ S} = 1$
Capacidad eléctrica	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ A s/V}$
Flujo de inducción magnética	waner	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V s}$
Inductancia	henrio	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ V s/A}$
Inducción magnética	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
Intensidad de campo magnético	ampere por metro	A/m	
Flujo eléctrico	ampere	A	
Flujo luminoso	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd sr}$
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m <sup>2</sup>	
Iluminación	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$
Número de ondas	metro a la menos uno	m <sup>-1</sup>	
Entropía	joule por Kelvin	J/K	
Calor específico	joule por kilogramo Kelvin	J/kg K	
Conductividad térmica	watt por metro Kelvin	W/m K	
Intensidad energética	watt por estéreo-radián	W/sr	
Actividad (de una fuente radiactiva)	uno por segundo	s <sup>-1</sup>	

**Tabla No. 3: Unidades no métricas permitidas por el S.I.**

Magnitud	Nombre	Símbolo	Equivalencia S.I.
Ángulo	grado	°	$1 = (\pi/180)\text{rad}$
	minuto	'	$1' = (\pi/10.8)\text{rad} = (1/60)^\circ$
	segundo	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648)\text{rad}$
Tiempo	minuto	Min	1min=60s
	hora	H	1h=60min=3,600s
	día	D	1d=24h=86,400s
Volumen	litro	L	$1\text{L} = 10\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
Masa	tonelada	T	$1\text{t} = 10^3\text{kg} = 1\text{Mg}$
Área	hectárea	Ha	$1\text{ha} = 1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$

Los prefijos S.I. no son aplicables a las unidades de ángulo ni a las de tiempo con excepción del segundo.

#### Sinonimias

**Litro:** nombre especial que puede darse al decímetro cúbico, siempre y cuando no exprese medidas de volumen de alta precisión.

**Grados Celsius:** puede utilizarse para expresar un intervalo de temperatura. Los intervalos entre grados Kelvin y Celsius son idénticos, pero mientras el cero Kelvin es el cero absoluto, el cero Celsius es el punto de fusión del hielo.

**Tabla No. 4: Prefijos del Sistema Internacional**

Factor	Prefijo	Símbolo
$10^{24}$	yota	Y
$10^{21}$	zeta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6 = 1.000.000$	mega	M
$10^3 = 1.000$	kilo	k
$10^2 = 100$	hecto	h
$10 = 10$	deca	da
1 = ( Unidad Básica sin Prefijo )		



Factor	Prefijo	Símbolo
$10^{-1} = 0,1$	deci	d
$10^{-2} = 0,01$	centi	c
$10^{-3} = 0,001$	mili	m
$10^{-6} = 0,000001$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

### Uso escrito de símbolos y prefijos

- Los nombres de las unidades, así como de sus múltiplos y submúltiplos, se escriben con minúscula. El grado Celsius es una excepción.
- Los símbolos que representan a las unidades se escriben con minúscula, excepto cuando proceden nombres propios. Se usa la letra mayúscula L para litro porque el l se confunde con i. Cuando un símbolo con dos letras procede de un nombre propio, la letra inicial es mayúscula. Por ejemplo Pa (en honor a Blaise Pascal).
- Los prefijos y submúltiplos se escriben con minúscula, excepto en el caso de mega y superiores.
- Los símbolos nunca se escriben en plural, ni llevan punto final, salvo que estén al final de una frase.
- Entre el número y el símbolo debe dejarse un espacio salvo en las medidas angulares.
- Los productos de unidades se expresan o bien dejando un espacio entre los símbolos o bien dejando un espacio entre ellos.

## **2.2 Equivalencia entre el S.I. y otros sistemas de unidades**

Si bien la mayoría de los países del mundo ha adoptado el Sistema internacional de unidades, los países de origen sajón tardarán algún tiempo en adoptar las nuevas unidades en razón de lo acentuado de sus costumbres en utilizar los antiguos sistemas.

**Tabla No. 5: Unidades básicas en diferentes sistemas de unidades**

Dimensión	SI	MKS	CGS	EEUU
Longitud	m	m	cm	pie
Tiempo	s	s	s	s
Masa	Kg	UTM	g	lbm
Temperatura	°K	°C	°C	°F
Calor	Julio	kcal	cal	Btu

**Tabla No. 6: Factores de conversión de unidades básicas y derivadas**

Magnitud	Unidad	Factor	Unidad S.I.
Longitud	Pulgada (Inch)	0.0254	metros
	Pié (Foot)	0.3048	
	Yarda (Yard)	0.9144	
	Milla (Mile)	1609.34	
Volumen	Galón (Gallon)	0.003785	m <sup>3</sup>
Masa	Onza (Ounce)	0.02834	Kilogramo
	Libra (Pound)	0.45359	
Temperatura	°Kelvin	°Celsius + 273.15	
	°Fahrenheit	°Celsius×1.8 + 32	
Velocidad	Km/hora	0.27777	m/s
	Milla/hora	0.44704	
Aceleración	g (gravedad)	9.80665	m/s <sup>2</sup>
Fuerza	Kilogramo (peso)	9.80665	Newton
	Dina	1.0×10 <sup>-5</sup>	
Energía, Calor	Kilocaloría	4186.00	Julio
	BTU	1054.35	
Potencia	Kilocaloria/hora	1.16222	Watio
	BTU/hora	0.29287	
	Caballo (HP)	746.000	
Flujo de calor	BTU/Foot <sup>2</sup> ·hora	3.15248	Watio/m <sup>2</sup>
Presión	Atmosfera	1.01325×10 <sup>5</sup>	Newton/m <sup>2</sup> (Pascal)
	Milibar	100	
	mm Hg (Torr)	133.322	
	Psi (Lb/in <sup>2</sup> )	6894.75	
Densidad	Lbm/Foot <sup>3</sup>	16.0184	Kg/m <sup>3</sup>
Calor específico	BTU/Lbm·°F	4.18681	Julio/Kg·°K
Conductividad térmica	BTU·inch/foot <sup>2</sup> ·hour	0.144131	Watio/m·°K
Conductancia térmica	BTU /foot <sup>2</sup> ·hour	5.674466	Watio/m <sup>2</sup> ·°K

### 2.3 Equivalencia entre las unidades energéticas comúnmente utilizadas en los países miembros de OLADE.

OLADE ha adoptado el barril equivalente de petróleo (BEP) como unidad común para expresar los balances energético, basado en las siguientes consideraciones:

- Es coherente con el sistema internacional de unidades (SI)
- Expresa aceptablemente una realidad física de lo que significa
- Está relacionada directamente con el energético más importante en el mundo actual y por lo tanto presenta facilidad en su utilización
- Su valor numérico resulta representativo para la disimilitud en tamaño de las cifras de los diferentes energéticos entre los Países Miembros de la Organización

Sobre la base del poder calorífico de 1 kg de petróleo que es de 10.000 Kcal, se tienen las siguientes equivalencias:

1 BEP	=	0.13878	toneladas equivalentes de petróleo (TEP)
1 TEP	=	7.205649	barriles equivalentes de petróleo (BEP)
1 TEP	=	$10^7$	kilocalorías (kcal)
$10^3$ TEP	=	6	terajoules (Tjoule)
$10^3$ BEP	=	1.3878	teracalorías (Tcal)

La base de datos del Sistema de Información Económica Energética, SIEE®, de OLADE, para el módulo de oferta/demanda utiliza la información de las diferentes fuentes energéticas en unidades físicas en las que comúnmente se miden y unidades calóricas, para luego ser transformadas a la unidad calórica común adoptada que es el barril equivalente de petróleo (BEP). Así se tiene que:

Los productos petroleros como petróleo, gas licuado de petróleo, gasolinas, kerosene/jet fuel, diesel oil y fuel oil, se expresan en miles de barriles americanos que se representan como  $10^3$  bbl.

1 barril americano	=	5.614583	Pies cúbicos
	=	42.0	Galones americanos
	=	158.98	Litros
	=	0.15898	Metros cúbicos
1 metro cúbico	=	1000	Litros
1 litro	=	1	Decímetro cúbico

Si los productos petroleros vienen en unidades másicas (toneladas) se deben convertir a unidades volumétricas con ayuda de la densidad.

Densidades de referencia en  $\text{ton}/\text{m}^3$ :

Gas licuado	0.55
Gasolina	0.75
Kerosene	0.82

Diesel oil	0.88
Fuel oil	0.94

El gas natural viene expresado en metros cúbicos y tiene las siguientes equivalencias:

1 metro cúbico =	35.3147	Pies cúbicos
	6.2898	barriles
	264.172	Galones americanos
	1000	litros

Los productos sólidos como los carbones tanto mineral como vegetal, leña y coques se los expresa en toneladas métricas, que tienen las siguientes equivalencias:

1 ton =	1000	Kilogramos
	2204.62	Libras
	1.10231	Toneladas cortas
	0.98421	Toneladas largas

Hidroelectricidad, Geoelectricidad y Electricidad se las expresa en Gigavatios-hora (GWh)

1 GWh	=	$10^9$ Wh
-------	---	-----------

Para fuentes y productos como: Productos de Caña, Otras Fuentes Primarias, Gases, Otras Fuentes Secundarias, y No Energéticos se emplea directamente el valor calórico expresado en barriles equivalentes de petróleo (BEP).

### 3. FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES FISICAS A CALORICAS

Con el fin de obtener una unidad general de medida del flujo de energía a través de las diferentes actividades de la cadena energética, que permita el análisis consolidado del balance de energía tanto en el sentido vertical como en el horizontal, es necesario convertir las unidades de masa y de volumen de los energéticos, en unidades calóricas, utilizando para ello el poder calorífico inferior de los mismos.

El poder calorífico inferior, no solo depende del tipo de sustancia, sino de sus características físicas y químicas específicas, por lo que pueden existir diferentes valores de poder calorífico para una misma sustancia, de diferentes calidades.

La unidad del poder calorífico inferior es conceptualmente unidades de energía o calor sobre unidades de masa, siendo la unidad más utilizada en la región la Kcal/Kg, para combustibles líquidos y sólidos, sin embargo para combustibles gaseosos como el gas natural, se utiliza generalmente el BTU/pie<sup>3</sup> o el kJ/m<sup>3</sup>

**Tabla No. 7: Poder calorífico inferior de algunos combustibles**

Combustible	(kcal/kg)
Carbón mineral	7,000
Petróleo crudo	10,000
Gasolina	10,500
Diesel	10,200
Fuel oil	9,800
Gas Natural	8,300 (kcal/m <sup>3</sup> )
Butano comercial	10,938
Propano comercial	11,082
Alcohol etílico	6,500
Biogás	4,500

A continuación se muestran algunos de los factores de conversión utilizados por OLADE para convertir los energéticos de unidades físicas originales a la unidad calórica común BEP:

**Tabla No. 8: Equivalencia en Bep de algunas unidades utilizadas en OLADE**

1 bbl	de petróleo	=	1.0015	BEP
1 bbl	de gasolina	=	0.8934	BEP
1 bbl	de diesel	=	1.0015	BEP
1 bbl	de combustibles pesados	=	1.0304	BEP
1 bbl	de GLP	=	0.6701	BEP
1 bbl	de kerosene	=	0.9583	BEP
10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	de gas natural	=	5.9806	BEP
10 <sup>3</sup> kWh	de hidro/geo electricidad	=	0.6196	BEP
1 ton	de leña	=	2.5940	BEP
1 ton	de carbón vegetal	=	4.9718	BEP
1 ton	de carbón mineral	=	5.0439	BEP
1 ton	de coque de carbón	=	4.8998	BEP
1 kilo	de uranio	=	71.2777	BEP
1 bbl	de alcohol	=	0.5980	BEP
1 ton	de bagazo	=	1.3114	BEP

**Tabla No. 9: Factores de conversión usados por los países miembros de OLADE**

Unidades Originales	10 <sup>3</sup> bbl	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ton	GWh	GWh	kg	10 <sup>3</sup> ton	GWh	10 <sup>3</sup> bbl	10 <sup>3</sup> bbl	10 <sup>3</sup> bbl	10 <sup>3</sup> ton	10 <sup>3</sup> ton	10 <sup>3</sup> bbl	
A : BOE x 10 <sup>3</sup>	PETROLEO	GAS NATU-TAL	CARBON	HIDRO	GEOTER.	NUCLEAR	LEÑA	ELECTR.	GASOLINA	KERO SENE/JET FUEL	DIESEL OIL	FUEL OIL	COQUE	CARBON VEGETAL	ALCOHOL
ARGENTINA	1.0139	5.9806	4.2513	0.6196	0.6196	71.2777	1.6573	0.6196	0.8715	0.9535	1.0082	1.0464	4.8998	4.6836	0.5980
BARBADOS	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8913	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
BOLIVIA	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.3417	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	5.2240	0.5980
BRASIL	0.9898	6.5715	3.2431	0.6196	0.6196	71.6957	2.2049	0.6196	0.8397	0.9187	0.9715	1.0803	4.8710	4.5395	0.5957
CHILE	1.0519	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5219	0.6196	0.9366	1.0300	1.0489	1.1169	5.0439	4.9718	0.5980
COLOMBIA	1.0664	5.9544	4.6836	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8790	0.9583	0.9943	1.0664	3.4587	3.4587	0.5980
COSTA RICA	0.9943	5.9806	5.2601	0.6196	0.6196	71.2777	3.0984	0.6196	0.8935	0.9439	0.9943	1.0664	4.6116	4.6836	0.5980
CUBA	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2770	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
ECUADOR	1.0304	5.6692	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.1617	0.6196	0.8798	0.9576	0.9994	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
EL SALVADOR	1.0051	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8826	0.9485	0.9912	1.0711	4.8998	4.6836	0.5980
GRENADA	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	0.9943	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
GUATEMALA	0.9929	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8913	0.9453	0.9929	1.0685	4.8998	4.9358	0.5980
GUYANA	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
HAITI	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
HONDURAS	1.0138	5.9806	5.0439	0.7558	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8711	0.9583	1.0087	1.0462	5.0439	3.6028	0.5980
JAMAICA	1.0015	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
MEXICO	1.1043	5.9806	5.4200	0.6196	0.6196	71.2777	3.1704	0.6196	0.9336	1.0128	1.0589	1.1478	4.8046	4.9718	0.5980
NICARAGUA	0.9994	5.9806	5.0439	0.7623	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8906	0.9540	0.9857	1.0678	4.6116	5.0439	0.5980
PANAMA	0.9943	5.9806	5.2601	0.6196	0.6196	71.2777	2.6898	0.6196	0.8790	0.9583	0.9943	1.0592	4.8998	4.8926	0.5980
PARAGUAY	0.9938	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8902	0.9452	0.9922	1.0689	4.8998	4.9718	0.5957
PERU	0.9943	5.9546	4.2743	0.7746	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8790	0.9583	0.9943	1.0592	4.8666	4.6762	0.5980
REPUBLICA DOMINICANA	1.0015	5.9806	2.7957	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9574	0.5980
SURINAM	1.0304	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8913	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
TRINIDAD Y TOBAGO	1.0015	6.4124	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	2.5940	0.6196	0.8790	0.9727	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
URUGUAY	1.0400	5.9806	5.0439	0.6196	0.6196	71.2777	1.9455	0.6196	0.8540	0.9481	0.9816	1.0741	4.8998	5.4042	0.5980
VENEZUELA	1.1067	7.5861	5.2600	0.6196	0.6196	71.2777	2.5219	0.6196	0.9247	1.0141	1.0671	1.1334	5.0424	5.6268	0.5980
IMPORTACION CARBON															
ARGENTINA	10 <sup>3</sup> ton =	5.1880	10 <sup>3</sup> Bep												
BRASIL	10 <sup>3</sup> ton =	5.2820	10 <sup>3</sup> Bep												
PERU	10 <sup>3</sup> ton =	5.2601	10 <sup>3</sup> Bep												
OTROS	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Gas de Refineria	= 7.9261	10 <sup>3</sup> Bep	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Biogas	= 3.9630	10 <sup>3</sup> Bep	1 Ton	Bagaso	= 1.31141	10 <sup>3</sup> Bep					
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Gas de coqueria	= 3.0263	10 <sup>3</sup> Bep												
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Gas de Altos Hornos	= 0.6485	10 <sup>3</sup> Bep												
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Gas de ciudad	= 2.8820	10 <sup>3</sup> Bep												

**Tabla No. 10: Factores de conversión para unidades energéticas comunes de OLADE**

	Bep	Tep	Tec	Tcal	TJ	10 <sup>3</sup> Btu	MWh	kg GLP	m <sup>3</sup> Gas Nat.	pc Gas Nat.
Bep	1	0.13878	0.1982593	0.00139	0.00581	5524.86	1.6139445	131.0616	167.207304	5917.15976
Tep	7.205649	1	1.4285868	0.01	0.04184	39810.22	11.629517	944.38388	1204.83714	42636.9763
Tec	5.04390	0.6999925	1	0.0070	0.0292877	27866.85	8.14057	661.0616	843.376919	29845.5621
Tcal	720.5649	100	142.85868	1	4.184	3981022	1162.952	94438.388	120483.714	4263697.6
TJ	172.21914	23.900574	34.144044	0.2390057	1	951487	277.95214	22571.316	28796.2988	1019048.19
10 <sup>3</sup> Btu	0.00018	2.51E-05	3.59E-05	2.51E-07	1.05E-06	1	0.00029	0.02372	0.030265	1.07101
MWh	0.61960	0.08599	0.1228	0.00086	0.0036	3423.20	1	81.20577	103.6016	3666.27219
kg GLP	0.00763	0.00106	0.001513	1.06E-05	4.43E-05	42.154696	0.0123144	1	1.27579173	45.147929
m <sup>3</sup> Gas Nat.	0.00598	0.00083	0.001186	8.30E-06	3.47E-05	33.041989	0.0096524	0.783827	1	35.3881657
pc Gas Nat.	0.00017	2.35E-05	3.35E-05	2.35E-07	9.81E-07	0.9337017	0.0002728	0.0221494	0.02825803	1

$$\bullet 1 \text{ bbl GLP} = 0.6701 \text{ Bep} \quad \bullet 1 \text{ bbl} = 0.15898 \text{ m}^3 = 5.6143 \text{ pc} \quad \bullet 1 \text{ m}^3 \text{ GLP} = 552.4 \text{ kg} \quad \bullet 1 \text{ pc} = 0.028317 \text{ m}^3$$

Es necesario aclarar que aunque los valores indicados en la tablas anteriores pueden servir de referencia para la transformación de unidades físicas a calóricas, cada país debe tener su propia tabla de factores de conversión, que debe ser actualizada periódicamente, en función de la calidad y composición específica de los energéticos que se manejan en cada uno de los períodos de análisis.

## 4. FACTORES DE EFICIENCIA TERMICA DE LAS INSTALACIONES ENERGETICAS.

### 4.1 Energía térmica útil

La segunda ley de la termodinámica plantea la imposibilidad de convertir el 100% de la energía térmica de una fuente, en trabajo útil, y nos dice además que todo proceso de extracción de calor es irreversible.

Esta ley introduce también el concepto de eficiencia térmica, que se define como la relación entre el trabajo útil producido por un sistema y la cantidad de calor que ingresa al mismo.

$$Et = \frac{\Delta W}{\Delta Q} * 100$$

La fracción restante, es decir  $100 - Et$ , corresponde al porcentaje de pérdidas, ya sea por disipación de calor al ambiente o por absorción de calor del propio sistema.

En las diferentes instalaciones de la cadena energética, tanto de transformación, como de consumo final, la eficiencia depende de las características de la fuente térmica y de la tecnología utilizada para el aprovechamiento de la energía.

### 4.2 Eficiencia en centrales termoeléctricas convencionales

Las centrales termoeléctricas aprovechan el calor liberado en el proceso de combustión de una fuente, para producir primero trabajo mecánico, el cual es convertido mediante el generador en energía eléctrica.

La eficiencia térmica de la central termoeléctrica, se calcula dividiendo la cantidad de energía eléctrica producida expresada en unidades calóricas, sobre el calor producido por la combustión.

El calor producido por la combustión, se obtiene multiplicando la masa de combustible quemado por su respectivo poder calorífico inferior.

A continuación se presenta una tabla de eficiencias térmicas típicas de algunos tipos de centrales termoeléctricas.

**Tabla No. 11: Eficiencias típicas de centrales termoeléctricas**

Tipo de central	Combustible	Eficiencia (%)
Motores combustión interna	Fuel Oil	35%
Motores combustión interna	Diesel	30%
Turbinas a gas	Diesel	40%
Turbinas a gas	Gas Natural	45%
Turbinas a vapor	Fuel Oil	45%
Turbinas a vapor	Diesel	40%
Turbinas a vapor	Carbón mineral	40%
Turbinas con ciclo combinado	Gas Natural	55%

## 5. FACTORES DE EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La metodología para calcular los factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), se detalla en la guía SIEN M-3.

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por el método de referencia, dependen del país, del energético, y del año de estimación, mientras que los factores de emisión por el método de tecnologías de diferentes contaminantes, depende del país, del energético, del contaminante, de la actividad y del año de estimación.

A continuación se presenta como ejemplo tablas de factores de emisión para diversos contaminantes calculados por el método de tecnologías, a partir del balance de energía de América Latina y el Caribe (países miembros de OLADE) correspondiente al año 2002.



**Tabla No. 12: Factores de emisión de CO2**

Dióxido de Carbono: Coeficientes de Emisión																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	kg / TJ	Petróleo	Gas	Carbón	Hidro	Geotermia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electricidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	612	3084	6																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	78382	49680	94320		10806		53063	97123	46408			66928	47550	72350	69957	74142	108544	96240	49680		
I	Autoproducción	78382	53314	91245		10806		53063	97123	46408			66366	47550	71881	69025	75886	108544	96240	53314		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																		49850			
L	Coquería																					
M	Destilería													26930								
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio	76385	49721	94425									67269	47550	69229	69965	74134	90629		49721		
Q	Pérdidas																					
R	Ajuste																					
S	Transporte		63517	91245				92893	41937				67674	72864	73731	76651	75886			63517	36300	
T	Industrial	76385	49721	94425				92893	97123	46408			67269	47550	69229	69965	74134	108544	96240	49721		27500
U	Residencial		53314	87186				92893		80949			58795	50307	69975	75497	76385		96240	53314		
V	Comercial	76385	53314	87186				92893		46408			67269	47550	69975	75016	75886		96240	53314		
W	Agro-pesca	76385	49721	94425				92893	97123	46408			67269	47550	69975	76651	74134	108544	96240	49721		
X	Construcción	76385	63517	91245				92893					67674	72864	69229	76651	75886		96240			17967
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético	36300	37399	24075					0				12487	14520	14157	36663	38115	26501	8700	37399		33250
	Cons. Final																					

**Tabla No. 13: Factores de emisión de CO**

Monóxido de Carbono: Coeficientes de Emisión																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	kg / TJ	Petró- leo	Gas	Carbón	Hidro	Geoter- mia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electri- cidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	0.5	2	0																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	53	114	52				1559	131	628			16	14656	53	161	163	11	9139	114		
I	Autoprodutor	53	197	86				1559	131	628			646	14656	354	226	322	11	9139	197		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																		5885			
L	Coquería																					
M	Destilería																					
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio	15	63	86									17	14656	51	67	68	195		63		
Q	Pérdidas																					
R	Ajuste																					
S	Transporte		143	86				173	6418				1523	7410	122	524	349			143		
T	Industrial	15	63	86				173	131	628			17	14656	51	67	68	11	9139	63		
U	Residencial		281	3583				8029		7299			65	12887	134	18	17		9139	281		
V	Comercial	15	281	3583				819		628			9	14656	134	337	322		9139	281		
W	Agro-pesca	15	63	86				1504	131	628			9	14656	134	611	68	11	9139	63		
X	Construcción	15	143	86				173		628			1523	7410	51	524	349		9139			
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético																					
	Cons. Final																					

**Tabla No. 14: Factores de emisión de NO<sub>x</sub>**

Oxidos de Nitrógeno: Coeficientes de Emisión																						
kg / TJ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		Petró- leo	Gas	Carbón	Hidro	Geoter- mia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electri- cidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	17	78	3																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	233	265	414				119	79	32			66	379	234	322	327	246		265		
I	Autoproducción	233	1568	345				119	79	32			695	379	1625	1206	1478	246		1568		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																		415			
L	Coquería																					
M	Destilería												116									
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio	166	126	274									66	379	224	188	191	488				
Q	Pérdidas																					
R	Ajuste																					
S	Transporte		238	345				104	99				399	390	293	1031	901			238		
T	Industrial	166	126	274				104	79	32			66	379	224	188	191	246		126		
U	Residencial		11	178				53		32			83	255	3	65	178			11		
V	Comercial	166	11	178				62		32			45	379	3	1553	1478			11		
W	Agro-pesca	166	126	274				115	79	32			45	379	3	1527	191	246		126		
X	Construcción	166	238	345				104		32			399	390	224	1031	901					
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético																					
	Cons. Final																					

**Tabla No. 15: Factores de emisión de hidrocarburos**

Hidrocarburos: Coeficientes de Emisión																						
kg / TJ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		Petró- leo	Gas	Carbón	Hidro	Geoter- mia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electri- cidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	1	1	2																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	16.4	5	2		500		131		5			1	554	17	4	4	1		5		
I	Autoprodutor	16.4	38	3		500		131		5			415	554	111	5	101	1		38		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																			6681		
L	Coquería																					
M	Destilería												287									
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio	3	5	259									1	554	16	3	3	1				
Q	Pérdidas	1658	18530											1658	1658	1658	1658			18530		
R	Ajuste																					
S	Transporte		335	3				35	11				34	32	2	6	22			335		
T	Industrial	3	5	259				35	131	5			1	554	16	3	3	1		5		
U	Residencial		6	1				259		5			12	783	13	3	1			6		
V	Comercial	3	6	1				8		5			4	554	13	106	101			6		
W	Agro-pesca	3	5	259				15	131	5			4	554	13	11	3	1		5		
X	Construcción	3	335	3				35		5			34	32	16	6	22					
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético																					
	Cons. Final																					

**Tabla No. 16: Factores de emisión de óxidos de azufre**

Óxidos de Azufre: Coeficientes de Emisión																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
kg / TJ		Petró- leo	Gas	Carbón	Hidro	Geoter- mia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electri- cidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	1	132	2																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	482	0.4	730		53							431	20	21	221	929	685	24	0.4		
I	Autoproductor	482	0.4	730		53							2	20	21	175	487	685	24	0.4		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																					
L	Coquería																					
M	Destilería													151								
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio	929	0	692									433	20	21	221	929					
Q	Pérdidas																					
R	Ajuste																					
S	Transporte		23	730				19												23		
T	Industrial	929	0	692				19					433	20	21	221	929	685	24	0		
U	Residencial							27						20	221	483			24			
V	Comercial	929												20	221	103			24			
W	Agro-pesca	929	0	692				19						20	221	103	929	685	24			
X	Construcción	929	23	730				19							21				24			
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético																					
	Cons. Final																					

**Tabla No. 17: Factores de emisión de partículas**

Partículas: Coeficientes de Emisión																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
	kg / TJ	Petró- leo	Gas	Carbón	Hidro	Geoter- mia	Nuclear	Leña	Prod. Caña	Otras	Total Primar.	Electri- cidad	GLP	Gasol./ alcohol	Keros.	Diesel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Gases	Otras	No energ.
A	Producción	3	2	2																		
B	Importación																					
C	Exportación																					
D	Inventario																					
E	No aprov.																					
F	Oferta Total																					
G	Refinería																					
H	Centrales elect.	17							1050				1	24	17	7	41	123	83			
I	Autoproducer	17	5						1050				25	24	116	111	106	123	83	5		
J	Centro de gas																					
K	Carbonera																		7512			
L	Coquería																					
M	Destilería												43									
N	Otros centros																					
O	Total Transf.																					
P	Consumo propio												1	24	17							
Q	Pérdidas																					
R	Ajuste																					
S	Transporte		8																	8		
T	Industrial								1050				1	24	17			123	83			
U	Residencial		1					756		2322				23	117	9			83	1		
V	Comercial		1										1	24	117	111			83			
W	Agro-pesca								1050				1	24	117			123	83			
X	Construcción		8												17				83			
Y	Consumo energ.																					
Z	No energético																					
	Cons. Final																					