

La Madera como Combustible

Por: Antonio CAMACHO Atalaya
Perito de Montes, de AITIM

Ante la actual crisis de energía, hemos creído conveniente traer a nuestras páginas unos apuntes sobre el otrora primer combustible mundial y que según las estimaciones volverá a ocupar un puesto importante en los comienzos del próximo siglo.

La madera, usada directamente o carbonizada, fue hasta comienzos de 1900 la principal fuente de calor utilizada por el hombre. Al aumentar la demanda térmica por el progreso industrial, cedió su lugar a combustibles de mayor potencia ca-

lorífica. Sin embargo aún hoy día es aconsejable su utilización en determinadas condiciones:

1.—Existen fábricas cuyos desperdicios en materiales leñosos se pueden estimar en un 30 a 50 %. Estas industrias tienen con estos residuos sus necesidades de vapor resueltas.

2.—Cuando se encuentra madera a bajo costo. Hasta hace poco tiempo existían en España varias posibilidades en este sentido. Hoy sólo es posible encontrar madera y leñas en estas circunstancias en terrenos muy determinados por cambios de cultivos.

3.—En situaciones de escasez de combustibles, como en los momentos actuales, se presenta la necesidad de utilizar la madera otra vez como fuente de calor. Por si se repitiera en el futuro dicha escasez, sería aconsejable emprender un estudio sobre posibilidades de incrementar el ritmo de repoblación artificial.

Se llama combustible a toda sustancia susceptible de arder con desprendimiento de calor. En su constitución entran a formar parte diversos elementos químicos, entre los que siempre se encuentran el carbono e hidrógeno que son los dos elementos que arden.

Atendiendo a sus características físicas podemos clasificar los combustibles en:

SOLIDOS

LIQUIDOS

GASEOSOS

Naturales:

Madera (4.500 Kcal/Kg.)
Carbones minerales (3.000 a 8.000 Kcal/Kg.)

Artificiales:

Carbón vegetal (7.000 Kcal/kilogramos)
Coque (7.000 Kcal/Kg.)
Aglomerados

Naturales:

Petróleo bruto (10.000 Kcal/kilogramos)
Aceites grasos

Artificiales:

Alquitrán (8.000 Kcal/Kg.)
Alcoholes
Bencinas

Naturales:

Gases naturales (metano y otros) (9.500 Kcal/Kg.)

Artificiales:

Gas del alumbrado (5.000 Kcal/Kg.)
Gas de agua (3.000 Kcal/Kg.)
Gas de aire (1.200 Kcal/Kg.)
Gas pobre
Gas de hornos de coque (4.500 Kcal/Kg.)
Etcétera

Los carbonos minerales tienen como origen la descomposición lentísima de vegetales enterrados en la corteza terrestre como consecuencia de cataclismos geológicos. Estos vegetales fueron desecándose primero y reduciéndose principalmente a celulosa, la cual a su vez sufrió procesos de pérdida de su oxígeno e hidrógeno y un enriquecimiento en carbono.

La celulosa de la madera responde a la fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$ mientras que la fórmula molecular de la hulla y la antracita se puede cifrar en $C_{10}H_8O$, en la que se aprecia un notable aumento proporcional del carbono respecto de la proporción existente en la celulosa.

El rendimiento calorífico de la madera, por esta razón, es bajo y su empleo generalizado como combustible se limita a los países con rico patrimonio forestal.

En la turba se aprecia aún la estructura vegetal que la originó. Su riqueza en carbono es un poco mayor que en la madera; se encuentra en terrenos pantanosos muy empapada en agua por lo que su potencia calorífica no pasa de 3.000 Kcal/kilogramos. Cuando se utiliza como combustible, es preciso prensarla y mezclarla con serrín u otro aglomerante (briquetas de las locomotoras).

El lignito presenta un grado de transformación, siendo su contenido en carbono entre el 50 y el 75 % y su potencia calorífica se puede estimar en 5.000 Kcal/Kg. Se formó en el período terciario.

La hulla tiene de un 75 a un 92 % de carbono. Se formó, así como la antracita, en el período carbonífero a partir de grandes licopodíneas y helechos arborescentes. Su potencia calorífica es de unas 8.000 Kcal/Kg.

La antracita es el último escalón de transformación de la madera. Su contenido en carbono alcanza el 96 % y su potencia calorífica está en unas 9.000

CUADRO N.º 2

Composición de las Cenizas de algunas maderas

Especies	Cenizas %	Composición								
		K ₂ O	P ₂ O ₅	CuO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₂	SiO ₂	Na ₂ O	
Abeto rojo	albura . . .	0,26	37,7	11,0	21,3	5,6	5,9	4,3	3,5	1,5
	duramen . .	0,20	29,6	1,0	36,8	9,8	8,5	4,3	1,0	3,2
Pino silvestre	albura . . .	0,19	18,4	7,2	27,6	11,0	6,3	5,2	2,1	4,6
	duramen . .	0,15	15,3	0,9	41,8	16,1	5,5	4,5	3,5	3,1
Alerce	albura . . .	0,22	24,2	5,8	31,1	15,1	5,0	5,8	4,9	4,1
	duramen . .	0,12	24,7	1,2	33,6	16,2	7,7	4,6	2,1	4,9
Pinabete	0,28	22,55	5,04	33,04	6,17	0,41	3,71	0,92	4,49	
Abedul	0,21	15,12	14,03	45,79	11,59	1,34	2,59	0,85	8,68	
Haya	0,40	38,6	1,5	33,3	12,8	2,1	3,9	2,1	4,2	
Roble	albura . . .	0,42	46,5	12,8	16,5	6,3	3,5	6,9	1,3	2,7
	duramen . .	0,16	41,9	2,7	25,5	2,8	3,2	12,4	5,5	1,5
Tilo	—	35,80	4,85	29,93	4,15	9,97	5,30	5,26	5,23	
Nogal	madera de primavera	—	40,78	14,89	22,24	8,92	2,71	4,94	2,41	—
	madera de otoño	—	14,88	12,21	55,92	8,09	2,23	3,15	2,86	—
Olmo	—	21,92	3,33	47,80	7,71	1,17	1,28	3,07	13,72	

Kcal/Kg. Sin embargo como combustible es más importante la hulla por sus condiciones de combustión (precisa menos aire). Además, la hulla aporta más productos de destilación.

Como dato importante es de señalar que las reservas de carbonos minerales se pueden estimar en 5.000.000.000.000 de toneladas (5 billones) mientras que las de petróleo oscilan en unos 9 a 10.000.000.000 de toneladas (9 a 10.000 millones). Claramente se comprueba que el futuro energético está en manos de los carbonos naturales, ya

que el petróleo en reserva no alcanza el 1 % en relación al carbón.

La potencia calorífica de un combustible es la cantidad de calor que puede desprender en condiciones ideales. Existen dos tipos de potencia calorífica: superior e inferior. Se sabe que todo combustible tiene una mayor o menor cantidad de agua y que el aire también tiene vapor de agua; ahora bien, al quemar el combustible, el agua que contiene se evapora, con lo que se pierden calorías que se van a la atmósfera en forma de

CUADRO N.º 3

(Según F. KOLLMANN)

Peso Específico aparente (peso de la unidad de volumen) y capacidad calorífica, por metro cúbico, de ciertas clases y especies de maderas

(Madera secada al aire hasta el 15 por 100 de humedad, y con poder calorífico de 3.800 kcal/kg para el pinabete y 3.600 kcal/kg para el haya)

Clases de maderas	Haya		Pinabete	
	Peso específico aparente — Kg/m ³	Capacidad calorífica — Kcal/m ³	Peso específico aparente — Kg/m ³	Capacidad calorífica — Kcal/m ³
Leños (*) de 1 m de longitud	480 - 550	1.730000 - 1.980000	330 - 400	1.250000 - 1.520000
Leños (**) de 0,5 m de longitud	480 - 550	1.730000 - 1.980000	330 - 400	1.250000 - 1.520000
Palos (***)	370 - 420	1.330000 - 1.510000	300 - 350	1.140000 - 1.330000
Madera de embalaje	250 - 300	900000 - 1.080000	200 - 240	760000 - 950000
Leña fina	300 - 350	1.080000 - 1.260000	230 - 280	875000 - 1.065000

(*) Diámetro, con corteza, superior a 14 cm en un extremo más delgado

(**) Diámetro, con corteza, entre 7 y 14 cm en un extremo más delgado

(***) Diámetro, con corteza, igual o inferior a 7 cm en un extremo más grueso

CUADRO N.º 1

Composición elemental y poder calorífico inferior de diversas maderas húmedas y otros combustibles orgánicos afines

Maderas		Peso específico aparente r_0 g/cm ³	Contenido de				Poder calorífico inferior para una humedad de		
Especies	Calidades		Carbono C %	Hidrógeno H %	Oxígeno y nitrógeno O - N %	Componentes volátiles %	$x = 0 \%$ $y = 0 \%$ Kcal/kg	15 - 17 % 17.6 - 20.5 % Kcal/kg	25 - 28 % 33.3 - 38.9 % Kcal/kg
Acer pseudoplatanus	Leños y palos	---	---	---	---	---	4183	---	
Acer pseudoplatanus	Leños	0,63	---	---	---	---	4306	---	
Abedul	Leños y palos	---	48,5	5,9	45,3	---	4805	---	
Abedul	Leños y palos	---	---	---	---	---	4506	---	
Haya	Leños y palos	---	48,6	5,8	45,0	---	4160	2970	
Haya	Leños y palos	---	---	---	---	---	4802	---	
Haya	Palos	---	48,4	6,2	45,4	89,1	4187	3461	
Haya	Leños y palos	0,66-0,72	---	---	---	---	4380	---	
Roble	Leños y palos	---	49,5	6,0	44,5	---	4187	2988	
Roble	Ramas	---	---	---	---	---	4356	---	
Roble	Leños y palos	---	---	---	---	---	4390	3676	
Roble	Leños y palos	0,69-0,74	---	---	---	---	---	3593	
Quercus cerris	Leños y palos	0,75-0,81	---	---	---	---	4244	3418	
Alnus glutinosa	Leños y palos	---	---	---	---	---	4216	3445	
Alnus glutinosa	Leños y palos	0,51-0,53	---	---	---	---	4316	3676	
Alnus incana	Leños y palos	---	---	---	---	---	4294	3462	
Fresno	Leños y palos	---	---	---	---	---	4123	3505	
Fresno	Leños y palos	0,71	---	---	---	---	4255	3617	
Carpe	Palos	---	---	---	---	---	4402	---	
Carpe	Palos y leños	0,77	---	---	---	---	4062	3409	
Castaño	Leños	---	---	---	---	---	4209	---	
Cerezo	Leños	---	49,7	6,0	44,3	---	4500	---	
Cerezo	Leños y palos	0,61	---	---	---	---	4426	---	
Tiló	Leños y palos	---	---	---	---	---	4264	---	
Chopo (P. nigra)	Leños y palos	---	---	---	---	---	4474	---	
Chopo (P. nigra)	Leños y palos	0,45	---	---	---	---	4129	3509	
Robinia	Leños y palos	---	49,2	5,9	43,1	---	4281	---	
Robinia	Leños y palos	0,75	---	---	---	---	4798	---	
Olmo	Palos y tocones	---	---	---	---	---	4258	3481	
Olmo	Leños y tocones	0,65	---	---	---	---	---	3511	
Salix alba	Palos y tocones	---	---	---	---	---	4419	---	
Salix alba	Leños	0,46	---	---	---	---	4264	3561	
Fronzosas	Promedio	---	49,0	6,0	44,6	---	4326	3529	
Pino Oregón	Leños y palos	---	---	---	---	---	4582	---	
Abeto rojo	Leños y palos	---	50,1	6,0	43,2	---	4892	---	
Abeto rojo	Leños y palos	---	---	---	---	---	4726	3900	
Abeto rojo	Leños	---	---	---	---	---	4290	---	
Abeto rojo	Leños	0,38	---	---	---	---	4578	3070	
Abeto rojo	Madera vieja de construcción	---	---	---	---	---	---	---	
Abeto rojo	Madera podrida	---	---	---	---	---	---	3729	
Pino silvestre	Leños y palos	---	---	---	---	---	5066	3705	
Pino silvestre	Leños	---	---	---	---	---	4470	3818	
Pino silvestre	Leños y palos	0,46	---	---	---	---	4438	3200	
Alerce	Madera vieja de construcción	---	---	---	---	---	---	3582	
Alerce	Leños y palos	---	52,1	6,4	41,5	89,1	4774	3028	
Alerce	Leños	0,60	---	---	---	---	4470	---	
Pinus strobus L.	Leños y palos	---	---	---	---	---	4420	---	
Pinabete	Almacenada durante mucho tiempo	---	---	---	---	---	4876	4054	
Pinabete	Fresca	---	51,1	6,3	42,6	83,3	4621	---	
Pinabete	Leños y palos	---	49,6	6,2	44,2	87,0	4496	---	
Coníferas	Promedio	---	---	---	---	---	4654	3866	
Briquetas de madera	Con un 5,9 % de azufre en el aglomerante	---	50,7	6,2	42,9	---	4622	3796	
Corteza de roble	---	---	51,4	6,6	38,2	90,2	4761	---	
Corteza de abeto rojo	---	---	---	---	---	---	---	3374	
Virutas de descortezado de abeto rojo	---	---	---	---	---	---	4260	---	
Corteza de pino silvestre	---	---	---	---	---	---	4430	---	
Lignina (D)	0,2 % de azufre	---	---	---	---	---	---	4068	
Lignina (T)	---	---	65,0	5,7	29,0	62,5	6080	---	
Briquetas de lignina (D)	---	---	65,0	5,7	28,4	61,1	6238	---	
Celulosa	0,2 % de azufre	---	66,4	5,9	27,5	62,5	6216	---	
Carbón vegetal de carbonera	Relat. rico en gases	---	44,4	6,2	49,4	---	4185	---	
Carbón vegetal de carbonera	Relat. pobre en gases	---	87,0	3,1	9,9	---	7897	---	
Carbón vegetal de retorta	Desgasificado parcialmente	---	93,6	1,8	4,6	6,7	8015	---	
		---	82,9	4,0	13,1	23,6	7629	---	

de agua. Potencia calorífica superior es la que incluye el calor de condensación del agua que contiene el combustible y potencia calorífica inferior es la que no lo incluye, es decir que el calor de combustión utilizable se ve disminuido en el calor de vaporización del agua.

El poder calorífico de las maderas oscila muy poco y se puede estimar en unas 4.500 Kcal/kilogramos, como potencia calorífica inferior.

Comparativamente y desde el punto de vista físico, las coníferas tienen una potencia calorífica superior a la de las frondosas. Ello es debido a su riqueza en resinas (9.000 Kcal/Kg) y a su mayor contenido en lignina, cuya potencia calorífica es de unas 6.000 Kcal/Kg. Entre las frondosas, como vemos en el cuadro núm. 1 (página contigua), los sauces y chopos, por su gran contenido en celulosa (4.200 Kcal/Kg), tienen poca potencia calorífica.

Una elevada proporción de humedad en la madera empleada como combustible (por ejemplo, más del 25 % en las leñas) predispone a la presencia de gases sin quemar y a la condensación sobre las paredes del hogar de vapor de agua y vapor de alquitrán que son causa de la formación de incrustaciones.

Estas incrustaciones se producen frecuentemente en las chimeneas que están totalmente al exterior (caso de las fábricas) y en las chimeneas de casas particulares con una pared a la intemperie, ya que a la causa anterior, se suma el enfriamiento de las paredes internas de la chimenea cuando el punto de rocío es inferior.

Las cenizas de madera, por su elevado contenido en K_2O (15 %) ataca los materiales cerámicos de los hogares cuando la temperatura de la combustión es alta; en la práctica, esta situación no se presenta por ser temperaturas muy bajas. Com-

CUADRO N.º 4

Peso, en kilogramos, de distintos combustibles equivalentes en poder calorífico

Supuestos: Leña seca al aire, $u \approx 20$ por 100.

Madera dura (haya), $r_u = 740$ kg/m³ en rollo.

Madera blanda (abeto rojo/pino silvestre), $r_u = 520$ kg/m³ en rollo.

Combustibles	Troncos de madera dura (*): 1 estereo = 0,7 m ³ en rollo 520 kg estereo		Troncos de madera blanda (*): 1 estereo = 0,7 m ³ en rollo 360 kg estereo		Palos de madera dura de más de 7 cm \varnothing : 1 estereo = 0,65 m ³ en rollo 480 kg estereo (**)		Palos de madera blanda de más de 7 cm \varnothing : 1 estereo = 0,65 m ³ en rollo 340 kg estereo (**)		Leña delgada de madera dura de 4 a 7 cm \varnothing : 1 estereo = 0,50 m ³ en rollo: 370 kg estereo		Leña delgada de madera blanda de 4 a 7 cm \varnothing : 1 estereo = 0,50 m ³ : 260 kg estereo		Leña menuda de madera dura: 1 estereo = 0,2 m ³ : 150 kg estereo		Costeros de madera blanda: 1 estereo = 0,55 m ³ : 290 kg estereo		Serrín de madera blanda, peso a granel: 170 kg estereo		Serrín de madera blanda, apisonado: 230 kg estereo		Virutas de cepillar madera blanda: 100 kg estereo	
	535	370	490	350	380	270	155	300	175	240	100											
Turba $H_u = 3500$ kcal/kg.....	535	370	490	350	380	270	155	300	175	240	100											
Lignito en bruto $H_u = 2300$ kcal/kg.....	815	560	750	530	580	410	235	455	270	360	155											
Briquetas de lignito $H_u = 4800$ kcal/kg.....	390	270	360	255	280	195	110	220	130	170	75											
Hulla $H_u = 6900$ kcal/kg.....	270	190	250	180	190	135	80	150	90	120	50											
Coque de gas $H_u = 7500$ kcal/kg.....	250	170	230	160	180	125	70	140	80	110	50											
Propano $H_u = 11000$ kcal/kg.....	170	120	160	110	120	85	50	95	55	75	30											

(*) Con Diámetro $\varnothing > 14$ cm, con corteza, en un extremo más delgado

(**) Con Diámetro $7 \leq \varnothing \leq 14$ cm, con corteza, en un extremo más delgado

(Según F. KOLLMANN)

CUADRO N.º 5

Poder Calorífico del Serrín Húmedo, de distintas clases

Serrín de	Almacenamiento del serrín	Humedad de la madera referida al		Peso específico aparente — Kg/m ³	Poder calorífico (H _u)	
		Peso seco en estufa — u %	Peso húmedo — x %		Absolutamente seco Kcal/kg	Mojado Kcal/kg
Abeto Douglas (Pseudo tsuga taxifolia Britt.)	Almacenado reciente	59	37,0	281	5110	3220
	1 año bajo cubierta	58	36,5	277	5060	3210
	1 año a la intemperie	85	46,0	325	5000	2700
	2 años a la intemperie	167	62,5	464	4780	1790
	5 años a la intemperie	285	74,0	628	4670	1210
Tsuga heterophylla Sarg.	Reciente	108	52,0	345	4720	2270
	1 año a la intemperie	170	63,0	446	4670	1730
Thuja plicata D. Don Abeto de Sitka (Picea sitchensis Carr.)	Reciente	77	43,5	216	5390	3040
	Reciente	92	48,0	266	4500	2340

(Según F. KOLLMANN)

CUADRO N.º 6

La Temperatura en el interior de los montones de Serrín Húmedo

(Según F. Kollmann)

Distancia del punto de medición a la superficie — Metros	Temperatura en [º C] tras un almacenamiento de		
	4 a 6 meses	2 años	5 años
1,22	38 a 43	34 a 37	36
2,44	49 a 53	43 a 48	36 a 37
3,66	54 a 58	51 a 53	36 a 37
4,88	67 a 73	—	—

parativamente, la madera produce muy poca ceniza: un 1 %. Estas cenizas empleadas como abono benefician en gran modo a los agrios al aumentar su contenido en zumo y reducir el espesor de su cáscara.

Aunque son variados los factores que influyen en la composición y cantidad de las cenizas, podemos destacar el elevado porcentaje de las cortezas (5 a 10 %) y que las ramas producen más que el tronco, sobre todo en las frondosas, ya que poco antes de la caída de la hoja, la savia se concentra en ellas y al desprenderse, desmineraliza al tronco.

La madera no es uniforme en su presentación como otros combustibles, por lo que es interesante conocer su forma y tamaño adecuados para tal utilización. El cuadro número 3 contempla estos supuestos.

Técnicamente, la madera como combustible, es de resultados mediocres comparada con otros combustibles. Para decidir el más adecuado, es necesario tener en cuenta sus ventajas e inconvenientes. En la madera tenemos entre los segundos su relativa pequeña capacidad calorífica en relación al volumen, la mano de obra que necesita, espacio para almacenamiento, vigilancia y gastos de transporte. Como ventajas podemos considerar el no formar incrustaciones, producir pocos residuos y en el aspecto huma-

no ser insustituibles en chimeneas caseras, amén de algo importantísimo en nuestros días: al no tener azufre no produce gases contaminantes ya que el monóxido de carbono que se forma en su combustión (CO), por ser un gas combustible, se quema también. En cuanto al precio de la madera como combustible se dan casos, como en Extremadura, donde los propietarios de montes pagan hasta 50 pesetas por cada encina que se quieren llevar los consumidores; por contra en zonas más densamente pobladas alcanza altos precios. El cuadro número 4 presenta un estudio comparativo sobre distintos combustibles.

El serrín es un elemento importante en las industrias de la madera. Como combustible da buenos resultados siempre que se emplee de modo adecuado. La forma mejor es mezclado con astillas y otros residuos. Las ventajas del serrín como combustible son la comodidad y limpieza en su manejo, su precio y la nulidad de cenizas y azufre. Mezclado con polvo de carbón se consigue hacer arder de forma rápida a madera húmeda. El cuadro número 5 nos indica la influencia de la humedad y el tiempo de almacenamiento sobre su poder calorífico.

El almacenamiento del serrín es peligroso debido al calor desarrollado por su fermentación. Puede estimarse que hasta después de un año su almacenamiento no deja de ofrecer ries-

go. A tal fin el cuadro número 6 refleja las temperaturas alcanzadas en el interior de los montones de serrín húmedo.

Según Kollmann un almacenaje bajo cubierta y con canales de ventilación entre los montones, da mejores resultados que cualquier otro modo de depositar el serrín fresco.

Sobre el almacenamiento del carbón vegetal, hacemos notar que un almacenamiento prolongado al aire disgrega los carbonos, disminuyendo su potencia calorífica, que en el caso de grandes pérdidas puede ocasionar una inflamación espontánea. Los montones de carbón no deben sobrepasar los 5 metros de altura y estar protegidos de la humedad y el calor excesivos. Deberá enterrarse en puntos diversos del montón tubos en los que pueda introducirse un termómetro para controlar su temperatura. En caso de incendio, no se debe emplear agua para sofocarlo pues el vapor de agua producido dificultaría la visión. Es mejor emplear barro y arena mojada excavando alrededor del foco. La ventilación de los carbonos almacenados más bien favorece que evita la inflamación espontánea.

**Industrial de la
Madera y Corcho**



trabaja para usted

poniendo la investigación
técnica al servicio de
su industria