



e. n. adaro

ASPECTOS ECONOMICOS DEL APROVECHAMIENTO ENER
GETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL
TOMO II: Estudio Técnico-Económico

PEN - CEE

Noviembre-1983

empresa nacional adaro de
investigaciones mineras, s.a.
enadimsa

50419

TITULO	ASPECTOS ECONOMICOS DEL APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL TOMO II: <u>Estudio Técnico-Económico</u>
CLIENTE	PEN - CEE
FECHA	Noviembre-1983

Referencia: P6/19/025

Departamento: PROYECTOS DE PLANTAS INDUSTRIALES Y
RESIDUOS SOLIDOS

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
0.- INTRODUCCION.....	1
1.- COMBUSTION	4
1.1.- GENERALIDADES	5
1.2.- ESTUDIO FISICOQUIMICO DE PROCESO DE COMBUSTION .	6
1.2.1.- Residuos forestales	6
1.2.2.- Residuos sólidos urbanos	18
1.2.3.- Residuos agrícolas	24
1.3.- ASPECTOS ECONOMICOS DE LA COMBUSTION	25
1.3.1.- Residuos forestales y agrícolas	26
1.3.1.1.- Caso doméstico o de aprovechamiento direc- to	27
1.3.1.2.- Sustitución de fuel-oil en la producción de vapor y/o aceite termico a pequeño nivel .	28
1.3.1.3.- Aplicación a gran escala industrial	40
1.3.2.- Residuos sólidos urbanos	51
1.3.2.1.- Incineración de residuos sólidos urbanos en bruto	52
1.3.2.2.- Incineración de la fracción ligera de los R.S.U.	63
2.- FERMENTACION ANAEROBICA DE RESIDUOS	72
2.1.- GENERALIDADES	73
2.2.- ESTUDIO FISICOQUIMICO DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA	76
2.2.1.- Balances de proceso de digestión anaeróbica .	76
2.2.1.1.- Balance de materiales	76
2.2.1.2.- Balance de energía	78
2.2.2.- Variables que influyen en el proceso de diges- tión metánica	81
2.2.2.1.- Variación de la producción de biogas con el contenido en sólido totales (ST) en el es- tiercol	82

2.2.2.2.- Variación de la producción de biogas con el tiempo de residencia (TRH)	84
2.2.2.3.- Variación de la producción de biogas con el contenido en paja del estiercol	90
2.2.2.4.- Influencia del pH	93
2.2.2.5.- Influencia de la temperatura	95
2.2.2.5.1.- Punto de vista energético de la influencia de la temperatura en el proceso de <u>di</u> gestión metánica	95
2.2.2.5.2.- Punto de vista microbiológico de <u>influen</u> cia de la temperatura en el proceso de digestión metánica	97
2.2.3.- Eficiencia de la digestión	100
2.3.- ASPECTOS ECONOMICOS DE LA DIGESTION DE RESIDUOS .	103
2.3.1.- Inversiones	106
2.3.2.- Costes operativos	107
2.3.3.- Costes financieros y amortizaciones	112
2.3.4.- Ingresos	112

0.- INTRODUCCION

El importante potencial sustitutorio que desde el punto de vista energético representa la biomasa, obliga a realizar un estudio exhaustivo de las tecnologías disponibles para aprovechar este potencial energético y los balances tanto económicos como energéticos que presentan cada uno de estos procedimientos.

Llegados a este punto es necesario hacer patente el hecho de que salvo la combustión y en cierta medida la fermentación metánica, el resto de los procesos presentan importantes lagunas tanto técnicas como económicas.

Estas lagunas provienen en principio de un todavía pequeño grado de desarrollo o de implantación, ya que muchos procesos se encuentran todavía en fase de experimentación aunque la escala del experimento sea del tipo industrial o semiindustrial y por tanto cualquier extrapolación está supeditada a las más o menos especiales características del experimento.

Esta falta de definición en el terreno técnico lleva por supuesto a una falta de definición en el terreno económico ya que quedan amplios márgenes de estimación tanto para las inversiones como para los costos operacionales. Esta situación se da de forma más aguda cuando existen diversos enfoques técnicos para la misma solución y se plantea una lucha comercial de venta de patentes, know how o equipos con amplias diferencias en los ratios costos/resultados pero sin que ninguna de

las partes ofertantes muestre referencias prácticas suficientemente convincentes, limitándose estas referencias a informes de experiencias piloto con el consiguiente riesgo a la hora de la extrapolación.

1.- COMBUSTION

1.1.- GENERALIDADES

Los procesos de combustión en general y la incineración (combustión completa) en particular, son métodos basados fundamentalmente en la producción continua de ruptura de enlaces con las consiguientes degeneraciones moleculares y por tanto con una generación energética en el proceso. Esta generación de energía puede ser captada por los propios residuos de combustión, en cuyo caso, constituye una pérdida o bien transmitida a los gases de salida de proceso, a partir de los cuales podrá ser recuperada la misma. Hay que tener igualmente en cuenta otro tipo de pérdidas como pueden ser las debidas a la transmisión de calor, las propias por el empleo de energía para el proceso, etc.

Para una realización más o menos profunda del estudio de estos procesos de combustión, es necesaria siempre la realización de todos los tipos de balances, es decir, de materiales y energéticos, y como consecuencia de los mismos, poder realizar un estudio económico.

Se ha realizado el estudio físico-químico del proceso de combustión de residuos forestales como caso general y el de R.S.U, como caso particular, procediéndose con los datos obtenidos de tal forma que, pueda llegarse a la consecución de unos conocimientos económicos en cuanto a los procesos de conversión de residuos por la vía de combustión.

1.2.- ESTUDIO FISICOQUIMICO DEL PROCESO DE COMBUSTION

Antes de realizar los balances anteriormente mencionados, tanto en el caso de los residuos forestales, como en el de los R.S.U., se ha hecho la aproximación de considerar los residuos a la entrada del proceso de conversión totalmente secos, hecho que se puede conseguir de forma natural, o bien con el aprovechamiento integral de algunos de los materiales calientes de los procesos.

1.2.1.- Residuos forestales

Se toma como valor medio una densidad del residuo de 480 kg/m³, una base de cálculo de 100 kg de residuo y una composición del combustible y del comburente de:

A. Combustible: (Se supone madera seca)

COMPONENTES	% (PESO)	P. ATOMICO	ATOMOS-MOLES
Carbono	50,31	12,011	4,189
Hidrogeno	6,20	1,008	6,151
Oxígeno	43,08	16,000	2,693
Cenizas	0,37	--	--
Agua	(*)	--	--
Nitrógeno	0,04	14,008	0,00286
T O T A L	100,00		13,036

Tabla 1. Composición media del residuo. Se supone seco.

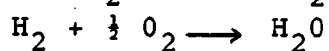
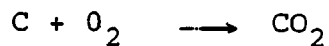
B. Comburente (aire). La composición varía con el grado de humedad así para un mol de aire se tiene:

COMPONENTES	COMPOSICION EN PESO (kg)		COMPOSICION EN VOLUMEN (moles)	
	SECO	70 %	SECO	70 %
N ₂	22,1382	21,8582	0,7902	0,7802
O ₂	6,7040	6,6208	0,2095	0,2069
CO ₂	0,0132	0,0131	0,0003	0,0003
H ₂ O	--	0,2270	--	0,0126
TOTAL	28,8554	28,7191	1,0000	1,0000

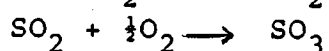
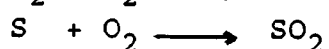
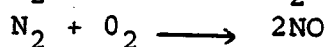
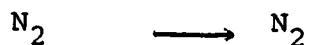
Tabla 2. Composición de un mol de aire a diferentes humedades.

Las reacciones que se producen en el proceso de combustión son:

A) Principales



B) Secundarias



Según estas reacciones se lleva a cabo el proceso de la combustión, y generalmente con un estudio estequiométrico de las mismas pueden conocerse factores como necesidades de comburente, composición de los gases de salida, etc.

De esta forma desde el punto de vista estequiométrico puede calcularse las necesidades de oxígeno para la combustión completa del residuo:

COMPONENTE	COMP. RESIDUO (atomo-mol/100 Kg R.)	MOLES O ₂ /100 kg RESIDUO
Carbono	4,189	4,189
Hidrogeno	6,151	1,539
Oxígeno	2,693	- 1,346
Cenizas	--	--
Agua	--	--
Nitrógeno	0,00286	--
T O T A L	13,036	4,382

Tabla 3. Oxígeno necesario para la combustión de 100 kg de residuo forestal.

Con los datos de la tabla anterior se calcula el aire necesario, según el grado de humedad del mismo.

- humedad 70%:

$$\text{cantidad de aire} = \frac{(4,382)(28,7191)}{(0,2069)} = 608,25 \text{ kg aire/} \\ 100 \text{ kg de residuo.}$$

- humedad 0% (aire seco)

$$\text{cantidad de aire} = \frac{4,382(28,8554)}{(0,2095)} = 603,55 \text{ kg aire/} \\ 100 \text{ kg de residuo}$$

que representan:

COMPONENTE	COMPOSICION DEL AIRE NECESARIO			
	PESO (Kg/100 Kg de Residuo)		VOLUMEN (MOLES/100 kg de Residuo)	
	SECO	70 %	SECO	70 %
N ₂	463,0541	462,9391	16,5282	16,5241
O ₂	140,2240	140,2240	4,3820	4,3820
CO ₂	0,2773	0,2817	0,0063	0,0064
H ₂ O	--	4,8085	--	0,2669
T O T A L	603,55	608,25	20,9165	21,1794

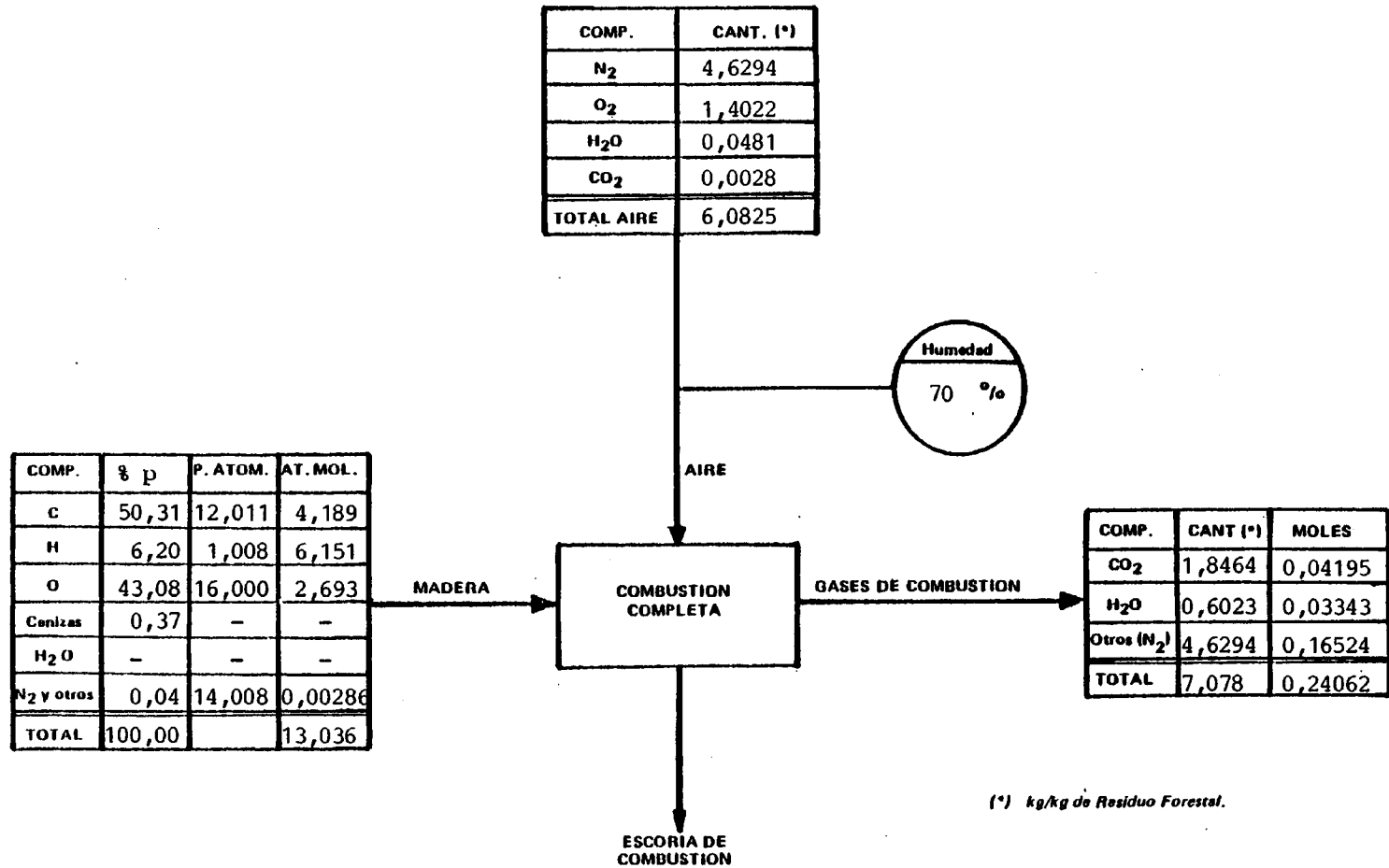
Tabla 4. Cantidad estequiométrica de aire necesaria para la combustión de 100 kg de residuo forestal seco, utilizando como comburente aire húmedo (70%) y seco.

Los gases de salida del incinerador, proceden de la combustión del residuo, así como del sobrante de comburente introducido en el proceso.

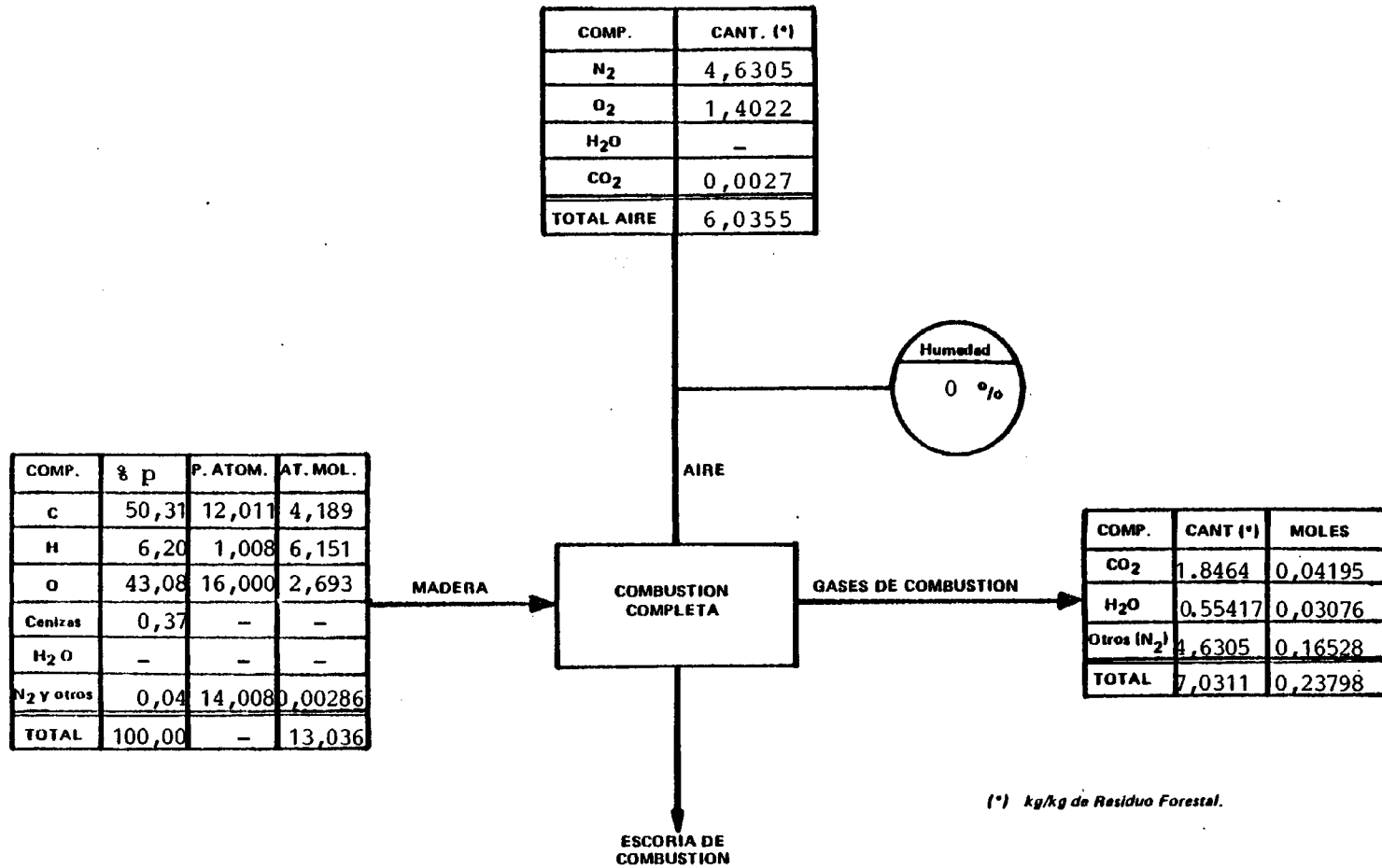
Los productos básicos del proceso de combustión son anhídrido carbónico, y agua (vapor), pero también salen otros como nitrógeno, ya sea en forma elemental o en forma de óxidos de nitrógeno (NO_x), oxígeno sobrante, vapor de agua procedente de la humedad del aire, etc. Según todo esto, los gases de salida en la combustión de 100 kg de residuo son:

COMPONENTES	70 %				SECO			
	PROCEDENTE DE LA COMBUSTION		PROCEDENTE DEL AIRE		PROCEDENTE DE LA COMBUSTION		PROCEDENTE DEL AIRE	
	(moles)	(Kg)	(moles)	(Kg)	(moles)	(Kg)	(moles)	(Kg)
CO ₂	4,189	184,362	0,0064	0,2817	4,189	184,362	0,0063	0,2773
H ₂ O (v)	3,076	55,417	0,2669	4,8085	3,076	55,417	--	--
TOTAL COMB.	7,264	239,779	0,2733	5,0902	7,264	239,779	0,0063	0,2773
N ₂ y otros	--	--	16,5241	462,9391	--	--	16,5282	463,0541
T O T A L	7,264	239,779	16,7974	468,293	7,264	239,779	16,5345	463,3314

Tabla 5. Gases de salida para una incineración de 100 kg de residuo forestal utilizando aire humedo (70%) y seco



ESQUEMA 1: BALANCE DE MATERIALES DE RESIDUOS FORESTALES



ESQUEMA 2: BALANCE DE MATERIALES DE RESIDUOS FORESTALES

Según la tabla 5 en caso de que se utilice aire al 70% de humedad saldrían 707,2083 kg de gases/100 kg de residuo (24,0614 moles) o bien para aire seco, 703,1104 kg de gases/100 kg de residuos (23,7985 moles),

Resultado del balance:

- moles de aire (70%) por cada kg de residuo	0,2118
- moles de aire (seco) por cada kg de residuo	0,2092
- moles de aire (70%) por cada mol de gas producido ...	0,8802
- moles de aire (seco) por cada mol de gas producido ..	0,8778
- moles de gas producido por cada kg de residuo (70%) .	0,2406
- moles de gas producido por cada kg de residuo (aire seco)	0,2379
- kg de gas por cada kg de aire (70%)	1,1637
- kg de gas por cada kg de aire (seco)	1,1650
- kg de gas por cada kg de residuo (70%)	7,0781
- kg de gas por cada kg de residuo (aire seco)	7,0311
- kg de aire (70%) por cada kg de residuo	6,08
- kg de aire (seco) por cada kg de residuo	6,03

Con el ánimo de que el proceso de combustión sea completo, y por tanto, se quemem todos los materiales combustibles, se utiliza prácticamente en todos estos procesos de incineración una cierta cantidad de aire en exceso.

La utilización del aire en exceso hace variar sustancialmente el proceso de combustión, afectando a factores como la temperatura del proceso, recuperación energética, etc. En el gráfico 1 se muestra la evolución en cuanto al nº de moles de los gases de salida según sea el exceso del aire introducido. La Tabla 6 presenta la cantidad de cada componente según se va incrementando el exceso de aire ya sea humedo (70%) o seco.

% (vol.)
gas comb.

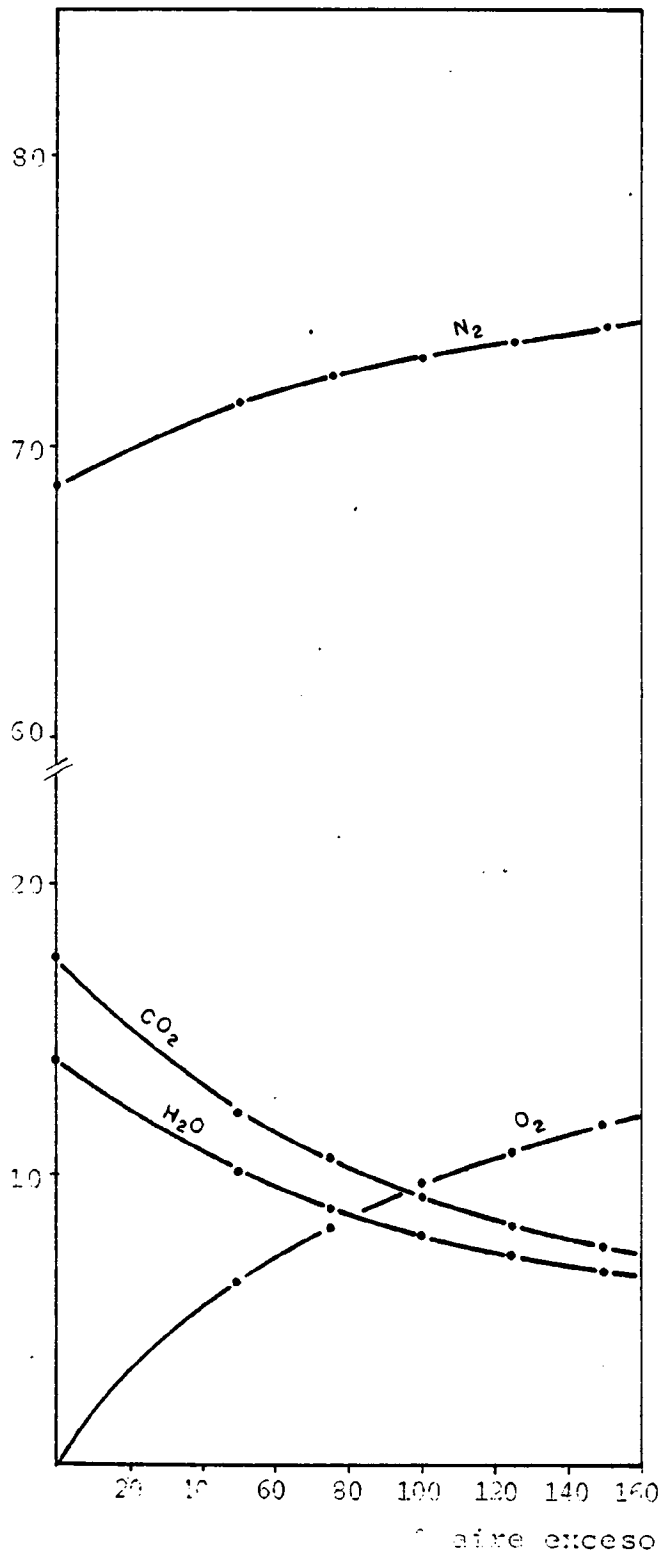


GRÁFICO 1 - Composición de los gases de salida según el exceso de aire para Residuos Forestales

HUMEDAD	AIRE		GASES DE SALIDA								
			CO ₂		H ₂ O		N ₂		O ₂		TOTAL
(%)	Exc.	Moles	Moles	% (vol)	Moles	% (vol)	Moles	% (vol)	Moles	% (vol)	Moles
70 %	0	21,1794	4,1954	17,44	3,3429	13,89	16,5241	68,67	—	—	24,0824
	50	31,7691	4,1986	12,12	3,4763	10,03	24,7863	71,53	2,1910	6,32	34,6522
	75	37,0640	4,2002	10,51	3,5430	8,87	28,9173	72,39	3,2865	8,23	39,9470
	100	42,3588	4,2018	9,29	3,6098	7,98	33,0483	73,04	4,3820	9,69	45,2419
	125	47,6537	4,2033	8,32	3,6765	7,27	37,1794	73,57	5,4775	10,84	50,5367
	150	52,9485	4,2049	7,53	3,7432	6,70	41,3104	74,00	6,5730	11,77	55,8315
Seco	0	20,9165	4,1953	17,63	3,0760	12,92	16,5282	69,45	—	—	23,80
	50	31,3748	4,1984	12,26	3,0760	8,98	24,7923	70,37	2,1910	6,39	34,26
	75	36,6039	4,2000	10,64	3,0760	7,79	28,9244	73,25	3,2865	8,32	39,49
	100	41,8330	4,2016	9,40	3,0760	6,88	33,0564	73,92	4,3820	9,80	44,72
	125	47,0621	4,2031	8,42	3,0760	6,16	37,1885	74,45	5,4775	10,97	49,95
	150	52,2913	4,2047	7,62	3,0760	5,58	41,3206	74,89	6,5730	11,91	55,17

Tabla 6. Balance de Materiales de la incineración de 100 kg de Residuos Forestales (Excedente de aire).

En lo que se refiere al punto de vista energético, y con los 100 Kg de Residuos tomados como base de cálculo, al igual que teniendo en cuenta las composiciones de los gases de salida (Tabla 6), pueden llegarse a establecer unas condiciones energéticas de operación, por un método de tanteo en el cual, a partir de las entalpías de los gases a cada temperatura, se calcula el calor latente que se podría recuperar de ellos. La entalpía de los gases de salida puede obtenerse con su composición y las fórmulas de Kelly a diferentes temperaturas:

$$\text{CO}_2: 133,44 \varphi + 7,36 \varphi^2 + \frac{8,43}{\varphi} - 89,44$$

$$\text{H}_2\text{O} : 225,13 \varphi + 21,07 \varphi^2 + 456,73$$

$$N_2 : 135,45 \varphi + 4,96 \varphi^2 + \frac{0,77}{\varphi} - 75,58$$

$$O_2 : 124,32 \varphi + 4,84 \varphi^2 + \frac{2,25}{\varphi} - 72,28$$

$$\text{Aire: } 133,59 \varphi + 5,06 \varphi^2 + \frac{1,11}{\varphi} - 70,61$$

donde $\varphi = \frac{9t + 2.460}{5.000}$, y siendo t la temperatura de los gases.

La entalpía así obtenida aparece en Kcal/kg.

La entalpía en función de la temperatura para cada mol de cada componente es la siguiente:

COMPONENTE	900º	1.000º	1.100º
CO ₂	10.087,60	11.387,70	12.710,80
H ₂ O	18.487,80	19.518,80	20.574,40
N ₂	6.527,10	7.319,60	8.121,10
O ₂	6.814,00	7.650,20	8.496,80

Tabla 7. Entalpía de los gases de salida en función de la temperatura (Kcal/mol).

Con los datos de las composiciones de los gases de salida y sabiendo sus entalpías, se puede llegar al cálculo del calor que se podría recuperar (Tabla 8), en caso de que el resto de las condiciones fueran aceptables, ya que se trata de un método de tanteo, y tomando el factor moles de salida/kg de residuo medio para aire húmedo o aire seco.

Con la Tabla 8, de la página siguiente, y conociendo el poder calorífico medio de los residuos (5.085 Kcal/Kg de conífera

EXCESO DE AIRE (%)	MOLES GAS 100 Kg de RESIDUO	T = 900°C		T = 1.000°C		T = 1.100°C	
		ENTALPIA GAS SALIDA	Kcal/Kg de RESIDUO	ENTALPIA GAS SALIDA	Kcal/Kg de RESIDUO	ENTALPIA GAS SALIDA	Kcal/Kg de RESIDUO
		Kcal/mol		Kcal/mol		Kcal/mol	
0	23,93	8.755,60	2.095,20	9.669,00	2.313,80	10.596,00	2.535,60
50	34,46	8.116,80	2.796,60	8.996,60	3.100,20	9.888,70	3.407,60
75	39,72	7.923,60	3.147,20	8.793,10	3.492,60	9.674,70	3.842,80
100	44,98	7.776,70	3.498,00	8.638,50	3.885,60	9.512,10	4.278,50
125	50,25	7.660,20	3.848,90	8.515,90	4.279,20	9.383,10	4.715,00
150	55,50	7.565,40	4.198,80	8.416,10	4.671,00	9.278,10	5.149,80

Tabla 8. Variación del contenido entalpico de los gases con el exceso de aire empleado (Método tanteo)

y 4.708 Kcal/Kg frondosa), teniendo en cuenta el nivel de pérdidas de una instalación normal, y considerando este de un 12 a un 16% (14%) puede calcularse, siguiendo el anterior método de tanteo, un exceso de aire necesario, y por tanto la composición de los gases de salida. De esta forma se llega a valores como los de la Tabla 9.

PERDIDAS (%)	CONIFERAS				FRONDOSAS			
	EXCESO DE AIRE			Q (Kcal/Kg)	EXCESO DE AIRE			Q (Kcal/Kg)
	900°C	1.000°C	1.100°C		900°C	1.000°C	1.100°C	
10	192	144	117	4756,50	169	137	110	4.237,20
11	188	141	114	4525,65	166	134	108	4.190,12
12	184	138	111	4474,80	162	130	105	4.143,04
13	180	134	108	4223,95	158	127	102	4.095,96
14	176	131	106	4.373,10	155	124	99	4.048,88
15	171	128	103	4.322,25	151	121	96	4.001,80

Tabla 9.- Exceso de aire y recuperación secundaria de calor según el nivel de pérdidas en la incineración de Residuos Forestales

1.2.2.- Residuos Sólidos Urbanos

Análogamente al caso de los residuos forestales, en la incineración de los R.S.U. se utiliza como comburente aire de características similares a las que presentaba en aquel caso.

En la incineración de R.S.U., se ha supuesto que el residuo entró en la fase de conversión como "todo uno" sin ninguna

separación previa de fracciones no combustibles, siendo por tanto su composición y las necesidades de oxígeno las siguientes, suponiendo una base de cálculo de una tonelada de R.S.U:

COMP.	Kg/t RSU	Peso atómico	Moles/t de RSU	Moles O ₂ /tonelada de RSU	Productos Combustión	Moles prod t RSU
C	373,67	12,011	31,11	31,11	CO ₂	31,11
H ₂	49,95	1,008	24,78	12,39	H ₂ O	24,78
O ₂	281,74	16,000	8,80	- 8,80	O ₂	(**)
N ₂	9,28	14,008	0,33	0,66	NO ₂ (*)	(0,66)
S	1,27	32,066	0,04	0,04	SO ₂ (*)	(0,04)
I.C.I.	284,09	--	--	--	--	--

I.C.I.: Inquemados, cenizas e Inertes

(*) : Se ha supuesto que sólo se forman con el N y S del residuo (Hipótesis)

(**) : Sólo aparece O₂ cuando se utiliza exceso de aire

Tabla 10.- Oxígeno necesario para la combustión estequiométrica de R.S.U.

Una vez estudiadas y conocidas las necesidades de oxígeno, desde el punto de vista estequiométrico, es fácil, mediante el conocimiento de la composición del aire conocer las necesidades del mismo:

COMP.	h = 70%		h = seco	
	(%) vol	moles necesarios t R.S.U.	(%) vol	moles necesarios t R.S.U.
CO ₂	0,03	0,0513	3,03	0,0507
O ₂	20,69	35,3980	20,95	35,3980
N ₂	78,02	133,4825	79,02	133,5155
H ₂ O	1,26	2,1557	--	--
TOTAL	100,00	171,087	100,00	168,9642

Tabla 11.- Necesidades de aire para la incineración de R.S.U.

Los gases de salida de incinerador dependen fundamentalmente de la utilización, o no de aire en exceso, lo cual debido a las necesidades que presenta el residuo, debe ser tenido en cuenta en el proceso, y por tanto apareciendo frecuentemente en las mismas grandes cantidades de oxígeno y nitrógeno procedentes del aire introducido en exceso. En el caso de que no se utilizara aire en exceso las composiciones de los gases de salida, quedan plasmadas en la Tabla 12 según se utilice aire húmedo o aire seco, y diferenciando su procedencia, es decir, los procedentes de la combustión y los que lo hacen del aire por no intervenir en el proceso de combustión (CO_2 , N_2 , H_2O , etc.).

COMP.	h = 70%				h = seco			
	moles/t R.S.U.			(%)	moles/t R.S.U.			(%)
	Proce- dentes R.S.U.	Proce- dentes aire	TOTAL	vol	Proce- dentes R.S.U.	Proce- dentes aire	TOTAL	vol
CO_2	31,111	0,0513	31,1623	16,2061	31,111	0,0507	31,1617	16,3874
H_2O	24,777	2,1557	26,9327	14,0071	24,777	--	24,777	13,0298
N_2	--	133,4825	69,4211	69,4211	--	133,5155	133,5155	70,2137
NO_2	0,662	--	0,662	0,3443	0,662	--	0,662	0,3481
SO_2	0,040	--	0,040	0,0208	0,040	--	0,040	0,0210
TOTAL	56,590	135,6895	192,2795	100,00	56,590	133,5662	190,1562	100,00

Tabla 12.- Composición estequiométrica de los gases de salida del sistema de conversión energética de R.S.U., según su procedencia.

En la Tabla 13, de la página siguiente, se encuentran los valores de la composición de los gases de salida en el caso de que se utilice aire en exceso, mediante los cuales es posible llegar al contenido entálpico de los gases de salida representado en el Grafico 2 en Kcal/t R.S.U. para cada exceso de aire emplea

TABLA 13.- Composición de los gases de salida según el exceso de aire

AIRE		GASES DE SALIDA													moles aire
		CO ₂			H ₂ O		N ₂		O ₂		NO ₂		SO ₂		TOTAL
(%) EXC	moles / t RSU	moles / t RSU	%	moles / t RSU	%	moles / t RSU	%	moles / t RSU	%	moles / t RSU	%	moles / t RSU	%	moles / t RSU	(%)
0	170,03	31,1620	16,2959	25,8549	13,5205	133,5079	69,8165			0,662	0,3462	0,0209	0,0209	191,2264	88,92
10	187,03	31,1671	14,9678	25,9626	12,4684	146,8560	70,5268	3,5394	1,6998	0,662	0,3179	0,0209	0,0192	208,2271	89,83
15	195,53	31,1697	14,3832	26,0165	12,,0053	153,5302	70,8465	5,3091	2,4499	0,662	0,3055	0,0209	0,0096	216,7083	90,23
20	204,03	31,1722	13,8415	26,0704	11,5761	160,2044	71,1360	7,0788	3,1432	0,662	0,2939	0,0209	0,0093	225,2086	90,60
30	221,03	31,1773	12,8720	26,1781	10,8081	173,5528	71,6540	10,6182	4,3839	0,662	0,2733	0,0209	0,0086	242,2093	91,26
50	225,04	31,1875	11,2908	26,3937	9,5553	200,2574	72,4991	17,6991	6,4076	0,662	0,2397	0,0209	0,0076	276,2206	92,33
80	306,05	31,2028	9,5354	26,7171	8,1646	240,3105	73,4372	28,3194	8,6542	0,662	0,2023	0,0209	0,0064	327,2326	93,53
100	340,05	31,2130	8,6407	26,9326	7,4557	267,0073	73,9153	35,3982	9,7992	0,662	0,1833	0,0209	0,0058	361,2340	94,14

H, Kcal/tRSU
 $3 \cdot 10^6$

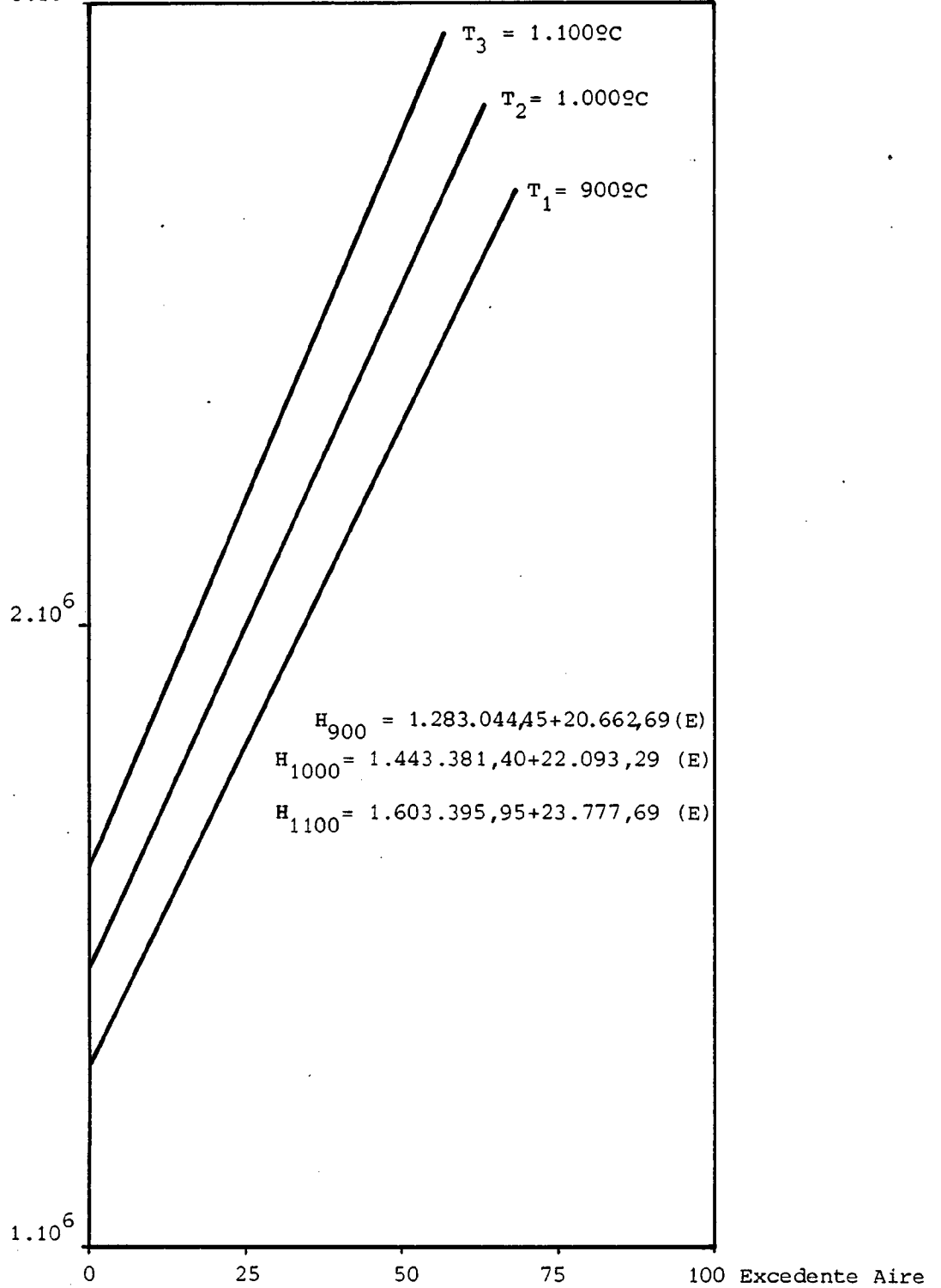


GRAFICO 2.- Variación teórica de la entalpia de los gases con el exceso de aire en el proceso en la incineración de RSU

Excedente aire

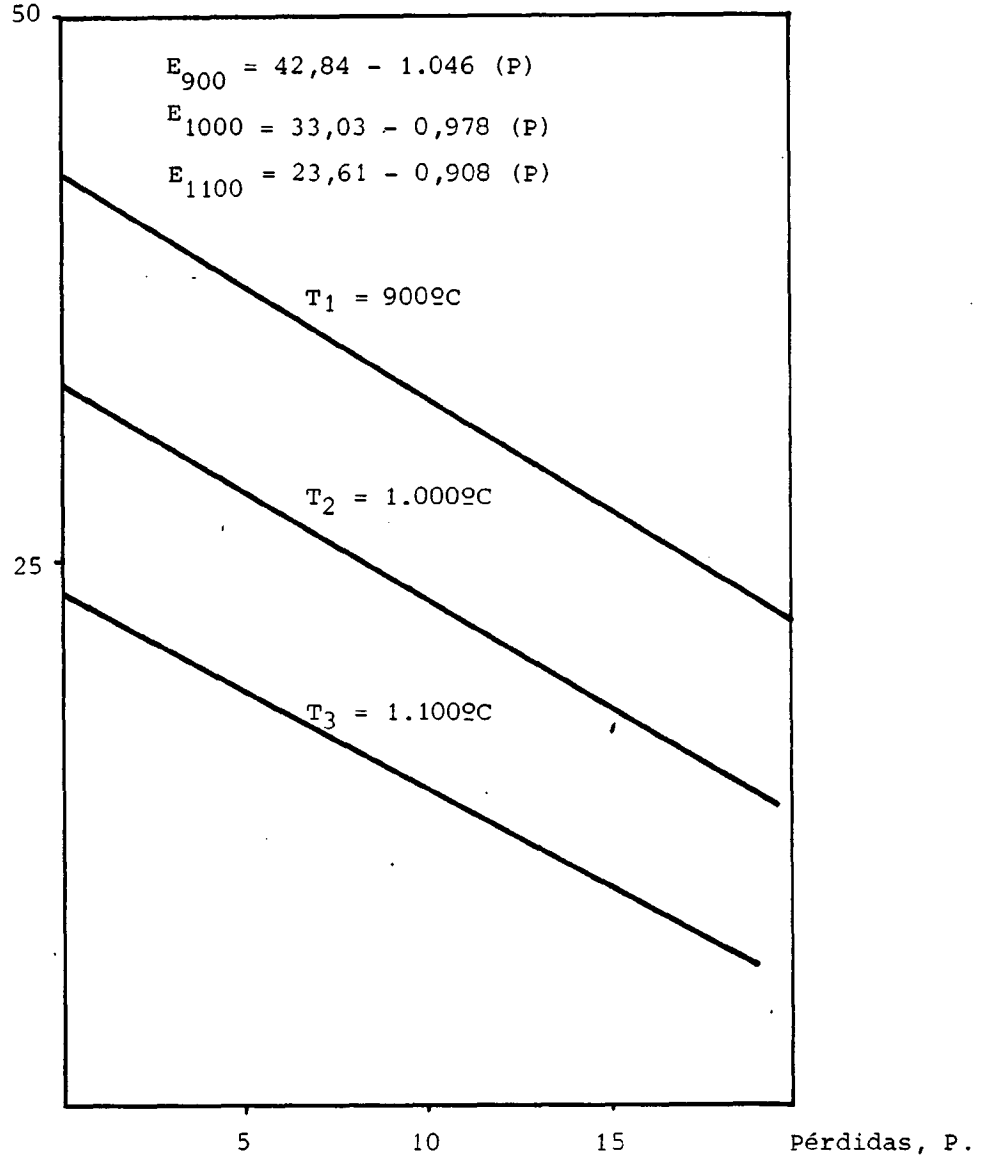


GRAFICO 3.- Exceso teórico de aire necesario según las pérdidas, en cada rango de Tª para la incineración de RSU

do, y con el conocimiento del poder calorífico de los R.S.U., así como del exceso de aire frente al nivel de pérdidas (Gráfico 3), llegar a la evaluación energética secundaria del residuo.

PERD. (%)	(Kcal/Kg) rec. inc.	EXCEDENTE AIRE (%)			(Kcal/kg) rec. secundaria	
		900°C	1.000°C	1.100°C	h = 41,50 %	h = 30,00%
		0	2.144,00	41,67	31,71	22,74
5	2.036,80	36,48	26,86	18,23	1.788,96	1.857,64
8	1.972,48	33,37	23,95	15,52	1.724,64	1.793,32
10	1.929,60	31,29	22,02	13,72	1.681,76	1.750,44
14	1843,84	27,14	18,13	10,11	1.590,00	1.664,68
16	1.800,96	25,07	16,18	8,31	1.553,12	1.621,80

Tabla 14.- Exceso de aire necesario y recuperación secundaria de calor

1.2.3.- Residuos agrícolas

El tratamiento fisicoquímico no ha sido realizado en este caso, ya que, es similar a los precedentes (Forestales) debido a su similitud en cuanto al tratamiento (incineración), variando simplemente, con las composiciones de entrada de cada tipo de residuo.

1.3.- ASPECTOS ECONOMICOS DE
LA COMBUSTION

La metodología a emplear en los casos que se estudiaran en los apartados siguientes sera:

INVERSION: Utilización de módulos de coste (E/t-día) fa
cilitados por los fabricantes de equipos.

COSTES OPERATIVOS: Los derivados del coste del personal
mantenimiento y coste del combustible a pié
de fábrica.

COSTES FINANCIEROS: Los intereses de los créditos nece-
sarios para cubrir el 100% de la inversión.

AMORTIZACIONES: Los pagos de principal que cancelan es-
tos créditos.

INGRESOS: El valor del combustible sustituido.

En estas condiciones se estableceran tres cuadros de si
tuación: Máximo, Base y Mínimo.

Para el cuadro base se determinaran:

Cash-Flow (antes y después de impuestos).

Movimiento de fondos (antes y después de impuestos).

Valor actualizado Neto (antes y después de impuestos pa
ra valores de la tasa de descuento entre 0 y TIR.

T.I.R. (antes y después de impuestos).

Por último, se realizará un análisis de riesgo por el sistema Montecarlo, realizando 100 iteraciones, en cada una de las cuales se analiza la TIR antes de impuestos de un supuesto de situación elegido aleatoriamente entre los valores Máximo y Mínimo, con las siguientes leyes aleatorias:

- . Para inversiones: Ley equiprobable
- . Para costes operacionales: Ley normas
- . Para costes financieros: Ley equiprobable
- . Para amortizaciones: Ley equiprobable
- . Para ingresos: Ley normas

Por último, aplicamos a los beneficios netos, la tasa actual de Impuesto de Sociedades: 35% y consideramos un factor de agotamiento del 30% imputable a pérdidas de rendimiento (paradas, averías, etc.) a lo largo del período.

1.3.1.- Residuos Forestales y Agrícolas

El análisis económico del aprovechamiento energético de residuos agrícolas y forestales mediante combustión presenta una dificultad básica que proviene de la enorme diversidad de escalas de aplicación que se pueden dar en este campo.

En este sentido, nos encontramos desde los niveles mínimos representados por la sustitución de gas butano o electricidad en la calefacción doméstica mediante el empleo de las tradicionales estufas de leña en las que se quema una amplia variedad de este tipo de residuos y que si bien su escala individual es mínima (nos movemos a niveles de unidades o como máximo docenas de kilogramos por día), el conjunto total de esta

aplicación a nivel nacional arroja cifras nada despreciables, que actualmente se estiman alrededor del 1% de la demanda energética del país.

En un nivel superior nos encontramos con aplicaciones de sustitución de combustibles sólidos (carbón fundamentalmente) y eventualmente líquidos (fuel-oil) en instalaciones de aprovechamiento directo del calor generado en la combustión de los mismos, como ejemplo podemos citar la calefacción de naves por aire caliente, secaderos, etc. En este tipo de aplicaciones la sustitución de los combustibles convencionales por residuos no necesita inversión adicional alguna o en todo caso las inversiones son tan pequeñas, que su retorno es inferior al año.

Mayor nivel de inversión es requerido en el caso en que el aprovechamiento energético comporte la presencia de un fenido a través del cual se hace el intercambio de calor, tal como puede ser el agua (en calefacciones por agua caliente o en producción de vapor), aceites térmicos (en calefacción de prensas), etc.

En estos casos es necesaria una inversión representada por la sustitución y/o adaptación de hogares y calderas al nuevo combustible.

Como conclusión a todo lo expuesto se deduce que una panorámica económica del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas y forestales para ser completa necesita del análisis de cada uno de los niveles detallados más arriba que es lo que se hace a continuación:

1.3.1.1.- Caso doméstico o de aprovechamiento directo

Estos casos están determinados como se dijo anteriormente

por la ausencia de inversión previa o por la baja cuantía de la misma que asegura en cualquier caso un retorno de la misma en un plazo inferior a un año.

En estos casos, la única consideración económica es la del coste de sustitución del combustible, debiéndose tener en cuenta que en estos casos, los circuitos de aprovisionamiento son muy simples con un amplio porcentaje de autoabastecimiento con lo cual el concepto de coste es totalmente marginal.

En la actualidad, el precio de la termia de carbón para grandes consumidores (cementeras, centrales térmicas, etc.) se sitúa entre las 1.20 y 1.50 pesetas siendo el coste de los fletes el que más influye en el precio final. Con este dato de partida, el asumir como precio de termia-carbón el precio de 2 pesetas para los niveles de consumo propios de estos sectores es una hipótesis bastante conservadora.

En base a esta hipótesis y considerando un PCI medio para los residuos agro-forestales entre 3.000 y 3.500 Kcal/Kg, resulta que la sustitución es económicamente atractiva para un precio del residuo situado entre las 6 y 7 ptas/Kg en el punto de consumo precio que por otra parte es el que está ofreciendo ICONA por los residuos forestales ya astillados procedentes de operaciones de poda, limpia y clareo.

Por supuesto, si la sustitución se realiza sobre gas-oil o gas butano, el aliciente económico de la misma se incrementa notablemente al estar la termia procedente de estos combustibles cercana a las 3 pesetas.

1.3.1.2.- Sustitución de fuel-oil en la producción de vapor y/o aceite termico a pequeño nivel.

Este caso se presenta en empresas pequeñas en las cuales

la sustitución es total o medianas y grandes empresas en que la sustitución es parcial. Consideraremos como caso representativo de este nivel, el consumo de 1.000-1.500 toneladas/año de residuo. Para estos niveles, existen en el mercado, equipos normalizados para atender a todas las funciones: triturado, manutención, alimentación, incineración y recuperación del calor, para estos niveles de capacidad la inversión fija se sitúa alrededor de los 2 millones de pesetas por tonelada/día de capacidad en régimen continuo de funcionamiento (24 horas al día).

El caso a estudiar como típico presenta las características siguientes:

- a) Capacidad: 1.500 t/a = 6 t/día (con 250 días útiles).
- b) PCI Residuo: Max = 4.500 Kcal/Kg, Min: 3.800 Kcal/Kg.
- c) Combustible a sustituir: fuel-oil o gasóleo C
- d) Precio del combustible sustituido: 37 ₧/Kg (gasóleo C)
- e) Rendimiento energético comparado: 0,55
- f) Personal necesario: un operario con = 0,5
- g) Mantenimiento: 2% de la inversión fija
- h) Gastos financieros y amortizaciones
 - En función a un crédito por el total al 18% (máximo)
 - En función de un crédito al 13% (mínimo)
- i) Precio del combustible (residuo): Max = 6 ₧/Kg, Min = 4 ₧/Kg.

Con estos elementos podemos fijar los supuestos de base como sigue:

Inversión fija: 12 MP (módulo 2 MP/t día)
 Máximo: 15 MP (Módulo 2,5 MP/t día)
 Mínimo: 10,6 MP (Módulo 1,8 MP/t día)

Costes operativos: 1 operario a = 0,5	800.000 ₧
Residuos (5 ₧/Kg)	7.500.000 ₧
Mantenimiento	240.000 ₧

Total 8.540.000 ₧

Máximo (residuo a 6 ₧/
Kilogramo 10.040.000 ₧

Mínimo (residuo a 4 ₧/
Kilogramo 7.040.000 ₧

Costes financieros y amortización:

En este caso el supuesto base y el valor máximo coinciden con el derivado de un crédito comercial al 18 por ciento a 10 años, con un valor mínimo representado por un crédito al 13 por ciento a 10 años que reproduce las condiciones financieras tipo PEN o de subvención según la Ley de Conservación y Ahorro Energético.

Con estos supuestos obtenemos los siguientes cuadros de amortización y costes financieros:

CASO BASE: 12MP, Crédito al 18%, Amortización a 10 años

N=10.00
I=18.00
PY=12,000,000.00
PMT=-2,678,175.70
FY=0.00

Datos básicos de amortización con
anualidades constantes

-AMORT-

I=18.00
 PV=12,000,000.00
 PNT=2,670,175.70
 P1=1
 P2=10
 END

PER 1
 INT=2,160,000.00
 PRN=510,175.70
 BAL=11,489,824.30

PER 2
 INT=2,068,168.37
 PRN=602,007.33
 BAL=10,887,816.97

PER 3
 INT=1,959,807.06
 PRN=710,368.64
 BAL=10,177,448.33

PER 4
 INT=1,831,940.70
 PRN=838,235.00
 BAL=9,339,213.33

Datos de amortización de cada
 anualidad

PER 5
 INT=1,681,058.40
 PRN=989,117.30
 BAL=8,350,096.03

PER 6
 INT=1,503,017.29
 PRN=1,167,158.41
 BAL=7,182,937.62

PER 7
 INT=1,292,928.77
 PRN=1,377,246.93
 BAL=5,805,690.69

PER 8
 INT=1,045,024.32
 PRN=1,625,151.38
 BAL=4,180,539.31

PER 9
 INT=752,497.08
 PRN=1,917,678.62
 BAL=2,262,860.69

PER 10
 INT=407,314.92
 PRN=2,262,860.69
 BAL=0.00

CASO MAXIMO: 15 MP, Crédito al 18%, Amortización a 10 años**-MONEY-**

END
 N=10.00
 I=18.00
 PV=15,000,000.00
 PMT=-3,337,719.62
 FV=0.00

Datos básicos de amortización con
 anualidades constantes

Datos de amortización de cada anualidad

-AMORT-

I=18.00
 PV=15,000,000.00
 PMT=3,337,719.62
 P1=1
 P2=10
 END

PER 1
 INT=2,700,000.00
 PRN=637,719.62
 BAL=14,362,280.38

PER 6
 INT=1,878,771.61
 PRN=1,458,948.81
 BAL=8,978,672.06

PER 2
 INT=2,585,210.47
 PRN=752,509.15
 BAL=13,609,771.23

PER 7
 INT=1,616,160.97
 PRN=1,721,558.65
 BAL=7,257,113.41

PER 3
 INT=2,449,758.82
 PRN=887,968.80
 BAL=12,721,810.43

PER 8
 INT=1,306,280.41
 PRN=2,031,439.21
 BAL=5,225,674.20

PER 4
 INT=2,289,925.88
 PRN=1,047,793.74
 BAL=11,674,016.69

PER 9
 INT=940,621.36
 PRN=2,397,098.26
 BAL=2,828,575.94

PER 5
 INT=2,101,323.00
 PRN=1,236,396.62
 BAL=10,437,628.07

PER 10
 INT=509,143.67
 PRN=2,828,575.94
 BAL=0.00

CASO MINIMO: 10,8 MP, Crédito al 13%, Amortización a 10 años**-MONEY-**

END
 N=10.00
 I=13.00
 PV=10,800,000.00
 PMT=-1,990,327.20
 FV=0.00

Datos básicos de amortización con
 anualidades constantes

Datos de amortización de cada anualidad:

-AMORT-

I=13.00
 PV=10,800,000.00
 PMT=1,990,327.00
 P1=1
 P2=10
 END

PER 6
 INT=910,057.51
 PRN=1,080,269.49
 BAL=5,920,172.88

PER 1
 INT=1,404,000.00
 PRN=586,327.00
 BAL=10,213,673.00

PER 7
 INT=769,622.47
 PRN=1,220,704.53
 BAL=4,699,468.35

PER 2
 INT=1,327,777.49
 PRN=662,549.51
 BAL=9,551,123.49

PER 8
 INT=610,930.89
 PRN=1,379,396.11
 BAL=3,320,072.24

PER 3
 INT=1,241,646.05
 PRN=748,680.95
 BAL=8,802,442.54

PER 9
 INT=431,609.39
 PRN=1,558,717.61
 BAL=1,761,354.63

PER 4
 INT=1,144,317.53
 PRN=846,009.47
 BAL=7,956,433.07

PER 10
 INT=228,976.10
 PRN=1,761,350.90
 BAL=3.73

PER 5
 INT=1,034,336.30
 PRN=955,990.70
 BAL=7,000,442.37

ΣINT=9,103,273.73
 ΣPRN=10,799,996.27
 BAL=3.73

INGRESOS: Caso base: P.C.I. 3.000 Kcal/Kg

$$\text{Ahorro en fuel: } \frac{4.000}{10.000} \times 0,35 \times 1,5 \times 10^6 \times 37 =$$

$$= 12,178 \text{ MP}$$

Caso máximo: P.C.I. 3.500 Kcal/Kg

$$\text{Ahorro en fuel: } \frac{4.500}{10.000} \times 0,55 \times 1,5 \times 10^6 \times 37 =$$

$$= 13,67 \text{ MP}$$

Caso mínimo: P.C.I. 2.800 Kcal/Kg

$$\text{Ahorro en fuel: } \frac{3.800}{10.000} \times 0,55 \times 1,5 \times 10^6 \times 37 =$$

$$= 11,58 \text{ MP}$$

Agrupando los datos quedan los siguientes cuadros de situación:

CASO BASE: (Datos en MP)

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	12,0	-	-	-	-
1	--	8,5	2,2	0,5	16,6
2	--	8,5	2,1	0,6	16,6
3	--	8,5	1,9	0,7	12,17
4	--	8,5	1,8	0,8	12,17
5	--	8,5	1,7	1,0	12,17
6	--	8,5	1,5	1,2	12,17
7	--	8,5	1,3	1,4	12,17
8	--	8,5	1,0	1,6	12,17
9	--	8,5	0,7	1,9	12,17
10	--	8,5	0,4	2,3	12,17

CASO MAXINO: (Datos en MP)

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	15,-	--	--	--	--
1	--	10,0	2,7	0,6	18,6
2	--	10,0	2,6	0,7	13,67
3	--	10,0	2,4	0,9	13,67
4	--	10,0	2,3	1,0	13,67
5	--	10,0	2,1	1,2	13,67
6	--	10,0	1,9	1,4	13,67
7	--	10,0	1,6	1,7	13,67
8	--	10,0	1,3	2,0	13,67
9	--	10,0	0,9	2,4	13,67
10	--	10,0	0,5	2,8	13,67

CASO MINIMO: (Datos en MP)

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	10,8	--	--	--	--
1	--	7,0	1,4	0,6	15,8
2	--	7,0	1,3	0,7	11,58
3	--	7,0	1,2	0,8	11,58
4	--	7,0	1,1	0,9	11,58
5	--	7,0	1,0	1,0	11,58
6	--	7,0	0,9	1,1	11,58
7	--	7,0	0,8	1,2	11,58
8	--	7,0	0,6	1,4	11,58
9	--	7,0	0,4	1,6	11,58
10	--	7,0	0,2	1,8	11,58

AÑO	INVERS.	COS.OP.	COS.FIN	AMORTI.	VENTAS
0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	8.5	2.2	0.5	12.2
2	0.0	8.5	2.1	0.6	12.2
3	0.0	8.5	1.9	0.7	12.2
4	0.0	8.5	1.8	0.8	12.2
5	0.0	8.5	1.7	1.0	12.2
6	0.0	8.5	1.5	1.2	12.2
7	0.0	8.5	1.3	1.4	12.2
8	0.0	8.5	1.0	1.6	12.2
9	0.0	8.5	0.7	1.9	12.2
10	0.0	8.5	0.4	2.3	12.2

AÑO	CF (D. I)	CF (A. I)
0	0.0	0.0
1	1.2	1.5
2	1.3	1.6
3	1.5	1.8
4	1.6	1.9
5	1.7	2.0
6	1.9	2.2
7	2.1	2.4
8	2.4	2.7
9	2.7	3.0
10	3.0	3.3

AÑO	M.D.F. (D. I.)	M.D.F. (A. I.)
0	-12.0	-12.0
1	3.4	3.7
2	3.4	3.7
3	3.4	3.7
4	3.4	3.7
5	3.4	3.7
6	3.4	3.7
7	3.4	3.7
8	3.4	3.7
9	3.4	3.7
10	3.4	3.7

TASA %	V.A.N. (D. I.)
0.0	22.2
2.0	18.7
4.0	15.8
6.0	13.2
8.0	11.0
10.0	9.0
12.0	7.3
14.0	5.9
16.0	4.5
18.0	3.4
20.0	2.4
22.0	1.4
24.0	0.6
26.0	-0.1
25.9	-0.1
25.8	-0.1
25.7	-0.0
25.6	0.0

TASA INTERNA DE RETORNO (D.I.)= 25.6

TASA %	V.A.N. (A.I.)
0.0	24.7
2.0	21.0
4.0	17.8
6.0	15.0
8.0	12.6
10.0	10.6
12.0	8.7
14.0	7.1
16.0	5.7
18.0	4.5
20.0	3.4
22.0	2.4
24.0	1.5
26.0	0.7
28.0	-0.0
27.9	0.0

TASA INTERNA DE RETORNO (A.I.)= 27.9

ANALISIS PROBABILISTICO

SUPUESTOS ESTADISTICOS :

PARA INVERSIONES : 2
 PARA COSTES OPERACIONALES ; 3
 PARA COSTES FINANCIEROS 2
 PARA AMORTIZACIONES 2
 PARA INGRESOS 3

NUMERO DE ITERACIONES : 100

CATEGORIA FRECUENCIA

-----	-----
0	0
1	0
2	0
3	26
4	35
5	46
6	56
7	60
8	73
9	81
10	83
11	87
12	92
13	96
14	97
15	97
16	98
17	98
18	98
19	99
20	99
21	99
22	100
23	100
24	100

Los resultados obtenidos pueden resumirse en el siguiente cuadro:

T.I.R. Básico:	27,9 %	
T.I.R. Máxima:	84.88%	probabilidad 1%
T.I.R. Mínima:	8-12%	probabilidad 100%
T.I.R. Equiprobable:	24-28%	

1.3.1.3.- Aplicación a gran escala industrial

El supuesto que se analiza a continuación está tomado de la realización llevada a cabo en la firma Torras Hostench con financiación del PEN. Los supuestos de análisis financieros son idénticos (interés y plazo de amortización) a los del caso anterior y las características las siguientes:

- a) Capacidad: 50 t/día
 - b) Tipo de residuo con PCI
 - Máximo 4.500 Kcal/Kg
 - Medio 4.000 Kcal/Kg
 - Mínimo 3.800 Kcal/Kg
 - c) Régimen de trabajo continuo (24 horas), 8.000 h/año
 - d) Combustible de sustitución: Fuel-oil
 - e) Rendimiento comparado: =,55
 - f) Precio del combustible sustituido: 27 ₧/Kg
 - g) Precio del combustible:
 - Máximo 5 ₧
 - Medio 4 ₧
 - Mínimo 4 ₧
- | | | |
|------------|----------------------|-------|
| Inversión: | Máximo: 1,2 MP/t día | 60 MP |
| Módulo | Medio: 1,1 MP/t día | 55 MP |
| | Mínimo: 1,0 MP/t día | 50 MP |
-
- | | | |
|-------------------------|----------|---------|
| Costes operativos: | Máximo = | 83,3 MP |
| Coste residuo | Medio = | 66,6 MP |
| | Mínimo = | 50,0 MP |
| Otros costes operativos | = | 10,7 MP |

Lo que nos da un valor total de costes operativos:

Máximos	94,- MP
Medios	77,3 MP
Mínimos	60,7 MP

Los costes financieros y amortizaciones están definidos por los siguientes cuadros de valores:

CASO MEDIO: 60 MP, Crédito al 13%, Amortización a 10 años**-MONEY-**

END
 N=10.00
 I=13.00
 PY=66,600,000.00
 PNT=-12,273,684.42
 FV=0.00

Datos básicos de amortización con
 anualidades constantes

Datos de amortización de cada anualidad:

-AMORT-

I=13.00
 PY=66,600,000.00
 PNT=12,273,684.42
 P1=1
 P2=0
 END

PER 1
 INT=8,658,000.00
 PRN=3,615,684.42
 BAL=62,984,315.58

PER 2
 INT=8,187,961.03
 PRN=4,085,723.39
 BAL=58,898,592.19

PER 3
 INT=7,656,816.99
 PRN=4,616,867.43
 BAL=54,281,724.76

PER 4
 INT=7,056,624.22
 PRN=5,217,060.20
 BAL=49,064,664.56

PER 5
 INT=6,378,406.39
 PRN=5,895,278.03
 BAL=43,169,386.53

PER 6
 INT=5,612,020.25
 PRN=6,661,664.17
 BAL=36,507,722.36

PER 7
 INT=4,746,003.91
 PRN=7,527,680.51
 BAL=28,980,041.85

PER 8
 INT=3,767,405.44
 PRN=8,506,278.98
 BAL=20,473,762.87

PER 9
 INT=2,661,589.17
 PRN=9,612,095.25
 BAL=10,861,667.62

PER 10
 INT=1,412,016.79
 PRN=10,861,667.62
 BAL=0.00

CASO MAXIMO: 83,3 MP, Crédito al 18%, Amortización a 10 años**-MONEY-**

END
 N=10.00
 I=18.00
 PV=83,300,000.00
 PMT=-18,535,469.62
 FV=-0.05

Datos básicos de amortización con
 anualidades constantes

Datos de amortización de cada anualidad:

-AMORT-

I=18.00
 PV=83,300,000.00
 PMT=18,535,469.62
 P1=1
 P2=10
 END

PER 1
 INT=14,994,000.00
 PRN=3,541,469.62
 BAL=79,758,530.38

PER 2
 INT=14,356,535.47
 PRN=4,178,934.15
 BAL=75,579,596.23

PER 3
 INT=13,604,327.32
 PRN=4,931,142.30
 BAL=70,648,453.93

PER 4
 INT=12,716,721.71
 PRN=5,818,747.91
 BAL=64,829,706.02

PER 5
 INT=11,669,347.08
 PRN=6,866,122.54
 BAL=57,963,583.48

PER 6
 INT=10,433,445.03
 PRN=8,102,024.59
 BAL=49,861,558.89

PER 7
 INT=8,975,000.60
 PRN=9,560,389.02
 BAL=40,301,169.87

PER 8
 INT=7,254,210.58
 PRN=11,281,259.04
 BAL=29,019,910.83

PER 9
 INT=5,223,583.95
 PRN=13,311,885.67
 BAL=15,708,025.16

PER 10
 INT=2,827,444.53
 PRN=15,708,025.09
 BAL=0.07

CASO MINIMO: \$50 MP, Crédito al 13%, Amortización a 10 años**-MONEY-**

END
 N=10.00
 I=13.00
 PV=50,000,000.00
 PMT=-9,214,477.79
 FV=0.00

Datos básicos de amortización con
 anualidades constantes

Datos de amortización de cada anualidad:

-AMORT-

I=13.00
 PV=50,000,000.00
 PMT=9,214,477.79
 P1=1
 P2=10
 END

PER 1
 INT=6,500,000.00
 PRN=2,714,477.79
 BAL=47,285,522.21

PER 2
 INT=6,147,117.89
 PRN=3,067,359.90
 BAL=44,218,162.31

PER 3
 INT=5,748,361.10
 PRN=3,466,116.69
 BAL=40,752,045.62

PER 4
 INT=5,297,765.93
 PRN=3,916,711.86
 BAL=36,835,333.76

PER 5
 INT=4,788,593.39
 PRN=4,425,884.40
 BAL=32,409,449.36

PER 6
 INT=4,213,228.42
 PRN=5,001,249.37
 BAL=27,408,199.99

PER 7
 INT=3,563,066.00
 PRN=5,651,411.79
 BAL=21,756,788.20

PER 8
 INT=2,828,382.47
 PRN=6,386,095.32
 BAL=15,370,692.88

PER 9
 INT=1,998,190.07
 PRN=7,216,287.72
 BAL=8,154,405.16

PER 10
 INT=1,060,072.67
 PRN=8,154,405.12
 BAL=0.04

INGRESOS:

$$\text{Máximo: } \frac{4.500}{10.000} \times 0,55 \times 27 \times \frac{50}{24} \times 8.000 \times 1000 = 111,4 \text{ MP}$$

$$\text{Medio: } \frac{4.000}{10.000} \times 0,55 \times 27 \times \frac{50}{24} \times 8.000 \times 1000 = 99,0 \text{ MP}$$

$$\text{Mínimo: } \frac{3.800}{10.000} \times 0,55 \times 27 \times \frac{50}{24} \times 8.000 \times 1000 = 94,1 \text{ MP}$$

De los enunciados anteriores obtenemos los cuadros de situación para el supuesto máximo y mínimo.

SUPUESTO MAXIMO

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	83,0	--	--	--	--
1	--	9,4	1,5	3,5	111,4
2	--	9,4	14,3	4,2	111,4
3	--	9,4	13,6	4,9	111,4
4	--	9,4	12,7	5,8	111,4
5	--	9,4	11,7	6,8	111,4
6	--	9,4	10,4	8,1	111,4
7	--	9,4	9,0	9,5	111,4
8	--	9,4	7,2	11,3	111,4
9	--	9,4	5,2	13,3	111,4
10	--	9,4	2,8	15,7	111,4

SUPUESTO MEDIO (Básico)

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	66,6	--	--	--	--
1	--	77,3	8,6	3,6	99,0
2	--	77,3	8,1	4,1	99,0
3	--	77,3	7,6	4,6	99,0
4	--	77,3	7,0	5,2	99,0
5	--	77,3	6,4	5,8	99,0
6	--	77,3	5,6	6,6	99,0
7	--	77,3	4,7	7,5	99,0
8	--	77,3	3,7	8,5	99,0
9	--	77,3	2,9	9,6	99,0
10	--	77,3	1,4	10,8	99,0

SUPUESTO MINIMO

AÑOS	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINANCIERO	AMORTI-ZACION	INGRESOS
0	50,0	--	--	--	--
1	--	60,7	6,5	2,7	94,1
2	--	60,7	6,1	3,1	94,1
3	--	60,7	5,7	3,5	94,1
4	--	60,7	5,3	3,9	94,1
5	--	60,7	4,8	4,4	94,1
6	--	60,7	4,2	5,0	94,1
7	--	60,7	3,6	5,6	94,1
8	--	60,7	2,8	6,4	94,1
9	--	60,7	2,0	7,2	94,1
10	--	60,7	1,1	8,1	94,1

AÑO	INVERS.	COS.OP.	COS.FIN	AMORTI.	VENTAS
0	66.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	77.3	8.6	3.6	99.0
2	0.0	77.3	8.1	4.1	99.0
3	0.0	77.3	7.6	4.6	99.0
4	0.0	77.3	7.0	5.2	99.0
5	0.0	77.3	6.4	5.8	99.0
6	0.0	77.3	5.6	6.6	99.0
7	0.0	77.3	4.7	7.5	99.0
8	0.0	77.3	3.7	8.5	99.0
9	0.0	77.3	2.9	9.6	99.0
10	0.0	77.3	1.4	10.8	99.0

AÑO	CF (D. I)	CF (A. I)
0	0.0	0.0
1	10.8	-13.1
2	11.3	13.6
3	11.8	14.1
4	12.4	14.7
5	13.0	15.3
6	13.8	16.1
7	14.7	17.0
8	15.7	18.0
9	16.5	18.8
10	18.0	20.3

AÑO	M.D.F. (D. I.)	M.D.F. (A. I.)
0	-66.6	-66.6
1	19.4	21.7
2	19.4	21.7
3	19.4	21.7
4	19.4	21.7
5	19.4	21.7
6	19.4	21.7
7	19.4	21.7
8	19.4	21.7
9	19.4	21.7
10	19.4	21.7

<u>TASA %</u>	<u>V.A.N. (D. I.)</u>
0.0	127.2
2.0	107.5
4.0	90.6
6.0	76.0
8.0	63.4
10.0	52.5
12.0	42.9
14.0	34.5
16.0	27.1
18.0	20.5
20.0	14.6
22.0	9.4
24.0	4.7
26.0	0.5
28.0	-3.3
27.9	-3.1
27.8	-2.9
27.7	-2.7
27.6	-2.5
27.5	-2.4
27.4	-2.2
27.3	-2.0
27.2	-1.8
27.1	-1.6
27.0	-1.4
26.9	-1.2
26.8	-1.0
26.7	-0.8
26.6	-0.6
26.5	-0.5
26.4	-0.3
26.3	-0.1
26.2	0.1

TASA INTERNA DE RETORNO (D.I.)= 26.2

TASA %	V.A.N. (A.I.)
0.0	150.4
2.0	128.3
4.0	109.4
6.0	93.1
8.0	79.0
10.0	66.7
12.0	56.0
14.0	46.6
16.0	38.3
18.0	30.9
20.0	24.4
22.0	18.5
24.0	13.3
26.0	8.6
28.0	4.3
30.0	0.5
32.0	-3.0
31.9	-2.8
31.8	-2.7
31.7	-2.5
31.6	-2.3
31.5	-2.2
31.4	-2.0
31.3	-1.8
31.2	-1.7
31.1	-1.5
31.0	-1.3
30.9	-1.1
30.8	-1.0
30.7	-0.8
30.6	-0.6
30.5	-0.4
30.4	-0.2
30.3	-0.1
30.2	0.1

TASA INTERNA DE RETORNO (A.I.)= 30.2

ANALISIS PROBABILISTICO

SUPUESTOS ESTADISTICOS :

PARA INVERSIONES : 2
 PARA COSTES OPERACIONALES ; 3
 PARA COSTES FINANCIEROS 2
 PARA AMORTIZACIONES 2
 PARA INGRESOS 3

NUMERO DE ITERACIONES : 100
 CATEGORIA FRECUENCIA

-----	-----
0	0
1	0
2	0
3	31
4	36
5	45
6	50
7	56
8	59
9	64
10	68
11	69
12	74
13	76
14	79
15	80
16	83
17	84
18	84
19	87
20	88
21	89
22	91
23	92
24	92

El resumen de resultados para este caso es:

TIR Básico:	30,2 % /antes de impuestos)
TIR Máximo:	96-100 % Probabilidad: 8%
TIR Mínimo:	8-12 % Probabilidad: 100%
TIR Equiparable:	24-28%

1.3.2.- Residuos Sólidos Urbanos

En este apartado podemos distinguir dos opciones básicas cuyo análisis económico objetivo es idéntico y sigue las directrices generales dadas en el apartado 1.3. pero que difiere radicalmente en los criterios bajo los cuales han de analizarse los resultados obtenidos.

Estas dos opciones básicas son la incineración de los R. S.U. en bruto y la obtención de un combustible (R.D.F.) a partir de la fracción ligera (F.L.) de los mismos.

En la primera de las opciones, la incineración es una de las varias alternativas de un servicio que ha de prestarse a la comunidad con independencia del coste del mismo, este servicio es la eliminación de las basuras domiciliarias. El que la eliminación de estas basuras se haga por incineración es una decisión que se toma tras comparar con otros sistemas posibles, el factor básico que inclina la balanza hacia este sistema es la falta de terrenos donde ubicar vertederos o la lejanía de los disponibles de los centros de generación de residuos. En este caso la valoración económica del aprovechamiento de la energía liberada en la incineración sólo constituye una posibilidad de reducción del coste de la alternativa en si ya que la existencia de un "canon de tratamiento" que nivele los resultados económicos de la planta de incineración, constituye un "input" para la misma, pero en realidad es un coste para la comunidad que es en última instancia el usuario final de la misma.

La segunda constituye por el contrario una alternativa puramente económica, en esta opción se obtiene un producto vendible: pellets combustible y la optica de enfoque de la alternativa es la viabilidad económica del proceso.

1.3.2.1.- Incineración de residuos
sólidos urbanos en bruto

Esta opción presenta a su vez dos variantes en cuanto al aprovechamiento de la energía obtenida: la utilización directa de la misma, es decir energía térmica bien sea en forma de vapor o agua caliente o bien la utilización de la energía previa su transformación en energía eléctrica.

Datos de base del Supuesto considerado.

Operativos	Capacidad: 1.000 t/día Régimen de trabajo: Continuo 11 meses/año
Comerciales	Canon de tratamiento: 1.800 ₧/t tratada Venta de energía: 2,5 ₧/termia
Financiación	Subvención del 25% del capital Interés básico del B.E. (8%) Amortización prevista: 20 años con 5 primeros de carencia.

A) INVERSION TOTAL

Se determinó a partir del módulo básico constituido por el precio de oferta de los equipos y maquinaria y aplicando el método de los coeficientes con comprobación posterior por medio del coeficiente de Lang para instalaciones mixtas (sólidos + fluidos). No se incluye el coste del suelo.

Maquinaria y equipos	1.683,- MP
Instalación (35%)	589,- MP
Tuberías (10%)	168,- MP
Instrumentación (8%)	135,- MP
Aislamientos (10%)	168,- MP
Instalación eléctrica (15%)	252,- MP
Edificación y obra civil (30%)	505,- MP
Servicios auxiliares (25%)	420,- MP
	<hr/>
Subtotal (capital físico)	3.920,- MP
Proyecto y dirección de obra (0,25 CF)	980,- MP
	<hr/>
TOTAL INVERSION	4.900,- MP

Tomamos como valor final 5.000 Millones de pesetas como promedio obtenido entre el método de coeficientes y la aproximación del coeficiente de Lang (3,1) al capítulo de equipos y maquinaria.

B) COSTES OPERATIVOS

Mano de obra (0,0025I)	125,- MP
Servicios generales (0,075I)	375,- MP
Mantenimiento (0,03I)	150,- MP
Seguros (0,01I) ,.....	50,- MP
	<hr/>
TOTAL	700,- MP

C) COSTES FINANCIEROS Y AMORTIZACIONES

Subvención	1.250 MP
Crédito	3.750 MP
Interés	8 %
Plazo	20 años
Carencia	5 años

CUADRO DE AMORTIZACION

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INTERES	400	400	400	400	400	400	373	346	320	293
AMORTIZACION	-	-	-	-	-	334	334	334	334	334
=====										
AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INTERES	266	240	213	186	160	133	106	80	53	26
AMORTIZACION	334	334	334	334	334	334	334	334	334	334

D) INGRESOS

Por canon	595 MP
Por energía	415 MP ($\eta = 35\%$, PCI = 1439 Kcal/Kg)
Otros ingresos (chatarra, escorias)	34 MP
	1.403 MP

Con estos datos resulta la cuenta de explotación provisio
nal siguiente:

Ingresos	1.403 MP
Total costos operación.	700 MP
	<hr/>
Margen de contribución.	703 MP

Este margen de contribución con el cuadro de amortización anterior genera el siguiente cuadro de situación:

ANO	INVERS.	COS.OP.	COS.FIN	AMORTI.	VENTAS
0	5000.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	700.0	400.0	0.0	1403.0
2	0.0	700.0	400.0	0.0	1403.0
3	0.0	700.0	400.0	0.0	1403.0
4	0.0	700.0	400.0	0.0	1403.0
5	0.0	700.0	400.0	0.0	1403.0
6	0.0	700.0	400.0	334.0	1403.0
7	0.0	700.0	373.0	334.0	1403.0
8	0.0	700.0	346.0	334.0	1403.0
9	0.0	700.0	320.0	334.0	1403.0
10	0.0	700.0	293.0	334.0	1403.0
11	0.0	700.0	266.0	334.0	1403.0
12	0.0	700.0	240.0	334.0	1403.0
13	0.0	700.0	213.0	334.0	1403.0
14	0.0	700.0	188.0	334.0	1403.0
15	0.0	700.0	160.0	334.0	1403.0
16	0.0	700.0	133.0	334.0	1403.0
17	0.0	700.0	106.0	334.0	1403.0
18	0.0	700.0	80.0	334.0	1403.0
19	0.0	700.0	53.0	334.0	1403.0
20	0.0	700.0	26.0	334.0	1403.0

ANO	CF (D. I)	CF (A. I)
0	0.0	0.0
1	228.8	303.0
2	228.8	303.0
3	228.8	303.0
4	228.8	303.0
5	228.8	303.0
6	310.6	303.0
7	331.0	330.0
8	351.4	357.0
9	371.0	383.0
10	391.4	410.0
11	411.8	437.0
12	431.4	463.0
13	451.8	490.0
14	470.7	515.0
15	491.8	543.0
16	474.4	520.0
17	532.6	597.0
18	552.2	623.0
19	572.6	650.0
20	593.0	677.0

ANO	M.D.F. (D. I.)	M.D.F. (A. I.)
0	-5000.0	-5000.0
1	628.8	703.0
2	628.8	703.0
3	628.8	703.0
4	628.8	703.0
5	628.8	703.0
6	710.6	703.0
7	704.0	703.0
8	697.4	703.0
9	691.0	703.0
10	684.4	703.0
11	677.8	703.0
12	671.4	703.0
13	664.8	703.0
14	658.7	703.0
15	651.8	703.0
16	657.4	703.0
17	638.6	703.0
18	632.2	703.0
19	625.6	703.0
20	619.0	703.0

TASA %	V.A.N. (D. I.)
0.0	8128.3
2.0	5737.7
4.0	3924.5
6.0	2529.3
8.0	1440.4
10.0	579.0
12.0	-111.2
11.9	-80.0
11.8	-48.6
11.7	-16.8
11.6	15.3

TASA INTERNA DE RETORNO (D. I.)= 11.6

TASA %	V.A.N. (A.I.)
0.0	9060.0
2.0	6495.1
4.0	4554.0
6.0	3063.4
8.0	1902.2
10.0	985.0
12.0	251.0
14.0	-343.9
13.9	-317.0
13.8	-289.7
13.7	-262.2
13.6	-234.4
13.5	-206.3
13.4	-177.9
13.3	-149.3
13.2	-120.4
13.1	-91.1
13.0	-61.6
12.9	-31.8
12.8	-1.6
12.7	28.8

TASA INTERNA DE RETORNO (A.I.)= 12.7

En este caso no se ha realizado análisis de riesgo (probabilístico), ya que los resultados de explotación de este supuesto dependen de un dato crecientemente determinista como es el canon de tratamiento.

Cabe indicar por otra parte, que el imput representado por la energía producida se materializará sólo si en las inmediaciones de la planta de incineración existen centros consumidores de esta energía ya que dada la forma en que es producida (vapor) no es factible su traslado.

Existe la posibilidad de obviar este inconveniente que es generando energía eléctrica a partir del vapor producido, lo que permite su inyección a la red general de distribución con lo

cual el uso de la energía producida se independiza de la situación geográfica de los consumidores, pero por otra parte presenta dos aspectos claramente negativos desde el punto de vista puramente económico: en primer lugar, el aumento de la inversión fija que provoca el correspondiente aumento de costes financieros y amortizaciones y en segundo lugar, el menor precio de venta de la energía producida, con el agravante de la disminución de rendimiento global en la transformación.

Los resultados obtenidos con el mismo planteamiento que el anterior pero con producción de energía eléctrica son los siguientes:

A) INVERSION TOTAL (Módulo básico 2.234 MP)

Maquinaria y equipos	2.234,- MP
Instalación (35%)	782,- MP
Tuberías (10%)	223,- MP
Instrumentación (8%)	179,- MP
Aislamientos (10%)	223,- MP
Instalación eléctrica (20%)	446,- MP
Edificación y obra civil (30%)	670,- MP
Servicios auxiliares (25%)	559,- MP
	<hr/>
Subtotal (capital fisico)	5.316,- MP
Proyecto y dirección obra (0,25 CF)	1.329,- MP
	<hr/>
TOTAL	6.645,- MP

D) INGRESOS

Por canon	594 MP
Por energía	340 MP (4,1 ¢ Kwh = 15%)
Otros ingresos	34 MP
	968 MP

Los resultados obtenidos nos llevan al siguiente cuadro de situación:

AÑO	INVERS.	COS.OP.	COS.FIN	AMORTI.	VENTAS
0	6645.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	929.0	532.0	0.0	968.0
2	0.0	929.0	532.0	0.0	968.0
3	0.0	929.0	532.0	0.0	968.0
4	0.0	929.0	532.0	0.0	968.0
5	0.0	929.0	532.0	0.0	968.0
6	0.0	929.0	532.0	443.0	968.0
7	0.0	929.0	480.0	443.0	968.0
8	0.0	929.0	445.0	443.0	968.0
9	0.0	929.0	409.0	443.0	968.0
10	0.0	929.0	374.0	443.0	968.0
11	0.0	929.0	338.0	443.0	968.0
12	0.0	929.0	303.0	443.0	968.0
13	0.0	929.0	268.0	443.0	968.0
14	0.0	929.0	232.0	443.0	968.0
15	0.0	929.0	197.0	443.0	968.0
16	0.0	929.0	161.0	443.0	968.0
17	0.0	929.0	126.0	443.0	968.0
18	0.0	929.0	90.0	443.0	968.0
19	0.0	929.0	55.0	443.0	968.0
20	0.0	929.0	19.0	443.0	968.0

AND	CF (D. I)	CF (A. I)
---	-----	-----
0	0.0	0.0
1	-493.0	-493.0
2	-493.0	-493.0
3	-493.0	-493.0
4	-493.0	-493.0
5	-493.0	-493.0
6	-493.0	-493.0
7	-441.0	-441.0
8	-406.0	-406.0
9	-370.0	-370.0
10	-335.0	-335.0
11	-299.0	-299.0
12	-264.0	-264.0
13	-229.0	-229.0
14	-193.0	-193.0
15	-158.0	-158.0
16	-122.0	-122.0
17	-87.0	-87.0
18	-51.0	-51.0
19	-16.0	-16.0
20	20.0	20.0

AND	M.D.F. (D. I.)	M.D.F. (A. I.)
---	-----	-----
0	-6645.0	-6645.0
1	39.0	39.0
2	39.0	39.0
3	39.0	39.0
4	39.0	39.0
5	39.0	39.0
6	39.0	39.0
7	39.0	39.0
8	39.0	39.0
9	39.0	39.0
10	39.0	39.0
11	39.0	39.0
12	39.0	39.0
13	39.0	39.0
14	39.0	39.0
15	39.0	39.0
16	39.0	39.0
17	39.0	39.0
18	39.0	39.0
19	39.0	39.0
20	39.0	39.0

TASA %	V.A.N. (D.I.)
%-20.0	10073.6
%-18.0	4607.1
%-16.0	1079.4
%-14.0	-1235.5
%-14.1	-1140.9
%-14.2	-1044.3
%-14.3	-945.8
%-14.4	-845.3
%-14.5	-742.7
%-14.6	-638.0
%-14.7	-531.1
%-14.8	-422.0
%-14.9	-310.6
%-15.0	-197.0
%-15.1	-80.9
%-15.2	37.5

TASA INTERNA DE RETORNO (D.I.) = -15.2

TASA %	V.A.N. (A.I.)
%-20.0	10073.6
%-18.0	4607.1
%-16.0	1079.4
%-14.0	-1235.5
%-14.1	-1140.9
%-14.2	-1044.3
%-14.3	-945.8
%-14.4	-845.3
%-14.5	-742.7
%-14.6	-638.0
%-14.7	-531.1
%-14.8	-422.0
%-14.9	-310.6
%-15.0	-197.0
%-15.1	-80.9
%-15.2	37.5

TASA INTERNA DE RETORNO (A.I.) = -15.2

Como vemos esta alternativa, agravada por una mayor inversión (que genera mayores cargas financieras) por una parte y por otra, por un precio de venta de la energía producida sensiblemente menor resulta muy negativa. Tiene la ventaja de que al producir energía eléctrica, esta puede inyectarse en la red de distribución con lo cual se independiza la situación de la planta de la de los centros de consumo.

1.3.2.2.- Incineración de la fracción ligera de los R.S.U.

Este proceso supone una separación selectiva de los componentes metanentes combustible de los RSU (papel, carton y plásticos principalmente) con lo cual se obtiene un producto de un PCI más alto.

En cuanto a la utilización del combustible obtenido se presentan también dos alternativas, el uso del mismo a granel o bien la transformación en pellets por un proceso de presado (densificación).

El primero ofrece la ventaja obvia de un menor costo, pero debido a su baja densidad aparente resulta enormemente penalizado en cuanto a transporte se refiere por lo que su utilización queda limitada al entorno próximo de la planta de selección.

En lo que sigue, trataremos el caso del producto densificado en forma de pellets sobre datos reales de instalaciones existentes.

Datos de base del supuesto considerado:

Capacidad: 3 t/h

Régimen de trabajo: 2 turnos/día, 11 meses/año

Precio de venta: 1,5 ₧/termia

A) INVERSION

Equipos	80,- MP
Obra civil y estructuras ...	16,- MP
Materiales y montaje	10,- MP
Instalación eléctrica	16,- MP
Proyecto y dirección obra ..	20,- MP
	<hr/>
TOTAL	142,- MP

B) COSTES OPERATIVOS

Mano de obra	13,- MP
Energía (300 Kwh)	12,- MP
Fuel secador	14,- MP
Mantenimiento	13,- MP
	<hr/>
	52,- MP

C) COSTES FINANCIEROS Y AMORTIZACIONES

Crédito por el total del capital al 12%
(Equivalente a financiar el 50% al 8% y el otro 50% al 15%).

Amortización en anualidades constantes: 25,13 MP/año ,
durante 10 años

CUADRO DE AMORTIZACION

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INTERES	17,00	16,07	15,00	13,76	12,40	10,87	9,16	7,24	5,10	2,70
AMORTIZACION	8,13	9,06	10,13	11,37	12,73	14,26	15,97	17,89	20,03	22,43

D) INGRESOS

Por venta de pellets 90 MP (PCI=4.200 Kcal/Kg)

Con estos datos podemos establecer la siguiente cuenta de explotación. Lo que nos lleva al cuadro de situación siguiente:

AÑO	INVERSION	COSTO OPERATIVO	COSTO FINAL	AMORTIZACION	INGRESOS
0	142	--	--	--	--
1	-	52	17	8	90
2	-	52	16	9	90
3	-	52	15	10	90
4	-	52	14	11	90
5	-	52	12	13	90
6	-	52	11	14	90
7	-	52	9	16	90
8	-	52	7	18	90
9	-	52	5	20	90
10	-	52	2	22	90

Para el análisis de riesgo fijamos los límites de acuerdo

con los siguientes criterios:

<u>CONCEPTO</u>	<u>MAXIMO</u>	<u>MINIMO</u>
Inversión	+ 15 %	-
Costo operativo	+ 10 %	- 5 %
Coste final	+ 15 %	-
Amortización	+ 15 %	-
Ingresos	+ 5	- 10 %

lo cual nos da la siguiente distribución de riesgos:

TIR MINIMA: 8 - 12% Probabilidad 100%

TIR MAXIMA: 44 - 48% Probabilidad 2%

TIR EQUIPROBABLE: 24 - 28%

<u>AÑO</u>	<u>INVERS.</u>	<u>COS.OP.</u>	<u>COS.FIN</u>	<u>AMORTI.</u>	<u>VENTAS</u>
0	142.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	52.0	17.0	8.0	90.0
2	0.0	52.0	16.0	9.0	90.0
3	0.0	52.0	15.0	10.0	90.0
4	0.0	52.0	14.0	11.0	90.0
5	0.0	52.0	12.0	13.0	90.0
6	0.0	52.0	11.0	14.0	90.0
7	0.0	52.0	9.0	16.0	90.0
8	0.0	52.0	8.0	17.0	90.0
9	0.0	52.0	5.0	20.0	90.0
10	0.0	52.0	3.0	22.0	90.0

<u>AÑO</u>	<u>CF (D. I)</u>	<u>CF (A. I)</u>
0	0.0	0.0
1	17.8	21.0
2	18.8	22.0
3	19.8	23.0
4	20.8	24.0
5	22.8	26.0
6	23.8	27.0
7	25.8	29.0
8	26.8	30.0
9	29.8	33.0
10	31.8	35.0

ANO	M.D.F. (D.I.)	M.D.F. (A.I.)
0	-142.0	-142.0
1	34.8	38.0
2	34.8	38.0
3	34.8	38.0
4	34.8	38.0
5	34.8	38.0
6	34.8	38.0
7	34.8	38.0
8	34.8	38.0
9	34.8	38.0
10	34.8	38.0

TASA %	V.A.N. (D.I.)
0.0	206.2
2.0	170.7
4.0	140.4
6.0	114.2
8.0	91.6
10.0	71.9
12.0	54.7
14.0	39.6
16.0	26.3
18.0	14.5
20.0	4.0
22.0	-5.4
21.9	-5.0
21.8	-4.5
21.7	-4.1
21.6	-3.6
21.5	-3.2
21.4	-2.7
21.3	-2.3
21.2	-1.8
21.1	-1.3
21.0	-0.9
20.9	-0.4
20.8	0.1

TASA INTERNA DE RETORNO (D.I.)= 20.8

TASA %	V.A.N. (A.I.)
0.0	238.0
2.0	199.3
4.0	166.2
6.0	137.7
8.0	113.0
10.0	91.5
12.0	72.7
14.0	56.2
16.0	41.7
18.0	28.8
20.0	17.3
22.0	7.1
24.0	-2.1
23.9	-1.7
23.8	-1.2
23.7	-0.8
23.6	-0.3
23.5	0.1

TASA INTERNA DE RETORNO (A.I.) = 23.5

SUPUESTO MAXIMO:

AÑO	INVERS.	COS. OP.	COS. FIN	AMORTI.	VENTAS
0	163.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	57.2	19.5	9.2	94.5
2	0.0	57.2	18.4	10.3	94.5
3	0.0	57.2	17.3	11.5	94.5
4	0.0	57.2	16.1	12.7	94.5
5	0.0	57.2	13.8	15.0	94.5
6	0.0	57.2	12.7	16.1	94.5
7	0.0	57.2	10.3	18.4	94.5
8	0.0	57.2	9.2	19.5	94.5
9	0.0	57.2	5.8	23.0	94.5
10	0.0	57.2	3.4	25.3	94.5

SUPUESTO MINIMO:

AÑO	INVERS.	COS. OP.	COS. FIN	AMORTI.	VENTAS
0	142.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	49.4	17.0	8.0	81.0
2	0.0	49.4	16.0	9.0	81.0
3	0.0	49.4	15.0	10.0	81.0
4	0.0	49.4	14.0	11.0	81.0
5	0.0	49.4	12.0	13.0	81.0
6	0.0	49.4	11.0	14.0	81.0
7	0.0	49.4	9.0	16.0	81.0
8	0.0	49.4	8.0	17.0	81.0
9	0.0	49.4	5.0	20.0	81.0
10	0.0	49.4	3.0	22.0	81.0

ANALISIS PROBABILISTICO

SUPUESTOS ESTADISTICOS :

PARA INVERSIONES : 2
 PARA COSTES OPERACIONALES ; 3
 PARA COSTES FINANCIEROS 2
 PARA AMORTIZACIONES 2
 PARA INGRESOS 3

NUMERO DE ITERACIONES : 100

CATEGORIA FRECUENCIA

CATEGORIA	FRECUENCIA
0	0
1	0
2	0
3	24
4	37
5	54
6	73
7	85
8	90
9	95
10	97
11	98
12	100
13	100
14	100
15	100
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100

El planteamiento económico del proceso puede ser aún más positivo si se tiene en cuenta una planta integrada que fabrique pellets a partir de la fracción ligera, recupere y venda la fracción magnética y composte la fracción orgánica vendiendo el compost obtenido, esta planta con una inversión total ligeramente superior tendría un aumento de la partida de ingresos por los siguientes capítulos:

- Canon de tratamiento
- Ingresos por venta de chatarra
- Ingresos por venta de compost

sin un apreciable aumento de las restantes partidas de costes lo que nos llevaría a una mayor rentabilidad.

2.- FERMENTACION ANAEROBICA DE
RESIDUOS

2.1.- GENERALIDADES

La fermentación desde el punto de vista microbiológico, se realiza en dos etapas bien diferenciadas, una primera etapa, en la cual las macromoléculas orgánicas pasan a formar moléculas más sencillas, y una segunda etapa, en la cual, estas moléculas sencillas pasan a descomponerse produciendo metano (CH_4) y otros gases. Dentro del final de la primera etapa aparecen compuestos como sales, ácidos grasos, gases, etc.

1a Etapa.- FRAGMENTACION MACROMOLECULAR

Las propias bacterias, no tienen capacidad para atacar las macromoléculas, es por tanto, por lo que tiene que haber primeramente un ataque hidrolítico (químico ó enzimático), mediante el cual, quedarán fragmentadas las macromoléculas orgánicas y las bacterias comenzarán a tomar parte en el proceso de destrucción de compuestos nitrogenados (urea, protidos, etc.) primamente en régimen aerobio y con aparición de mohos (Penicillium, Aspergillus, Rhizopus) así como bacterias (Bacillus, Psudomonas, Serratia, Proteos) pasando posteriormente a régimen anaerobia con la aparición del CLOSTRIDIUM. Según todo lo anterior, se forma metano (CH_4), amoniaco (NH_3), gas carbónico (CO_2), hidrógeno (H_2) etc.

Hay una segunda parte, en la cual se descomponen moléculas del tipo celulosa, pasando a glucosa, posiblemente por medio de un paso intermedio en el cual se forma celobiosa, intervinando microorganismos, mohos y acetomicetos.

La glucosa formada se descompone en un gran número de productos (alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos, etc.) siendo las bacterias preponderantes los CLOSTRIDIUS.

Los ácidos formados, son a veces, neutralizados formándose sales, que son las materias primas de la segunda parte. Así por ejemplo para el ácido acético:



2a Etapa.- FORMACION METANICA

Los ácidos orgánicos y principalmente las sales formadas en la neutralización anterior son transformados en metano mediante bacterias metanogénicas, con dos características que son, un lento crecimiento y una vida en anaerobiosis estricta. Estas bacterias metanogénicas pueden ser ocupadas en varios generos como metanobacterias (ruminantium, mobilis, etc.) metanobacilos (omelianskii) metanococos (vanneilli) metanosarcinas (bar kerii), etc.

En los estudios realizados por Bryant (1979) se pone de manifiesto que en la descomposición de un polisacárido, intervienen gran número de bacterias, reagrupadas en tres grupos:

- Fermentativas
- Acetogénicas
- Metanogénicas

Tomando siempre el mismo camino excepto en la formación de H₂, CO₂ donde se necesitan bacterias acetogénicas para que tenga lugar el fenómeno de la fermentación (Esquema 3).

Una vez conocido el proceso de metanización desde el punto de vista microbiológico, este, se realiza en base a varios tipos de fermentaciones ya mencionadas en el primer tomo del estudio, y de las cuales destacamos dos tipos:

- Las fermentaciones amonizantes. Con formación de sales solubles como alimento a la microfauna.
- Las fermentaciones metanizantes. Que son las que producen el metano combustible.

La etapa hidrolítica en este tipo de procesos de fermentación es muy importante, necesitándose de su perfecto conocimiento antes de poner en marcha una de estas instalaciones, ya que según sea el longitud de las cadenas pueden existir problemas de acidificación, con la consiguiente interupción del sistema, o no.

Pasada la etapa hidrolítica y entrando en la etapa de digestión propiamente dicha, esta puede seguir dos vías, una tomando sales, por reacciones de neutralización y la otra, por gasificación, es decir, el ácido no se neutraliza y pasa a descomponerse en gas carbónico e hidrógeno, que pueden pasar a formar metano (CH_4) combustible en etapas posteriores.

2.2.- ESTUDIO FISICOQUIMICO DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA

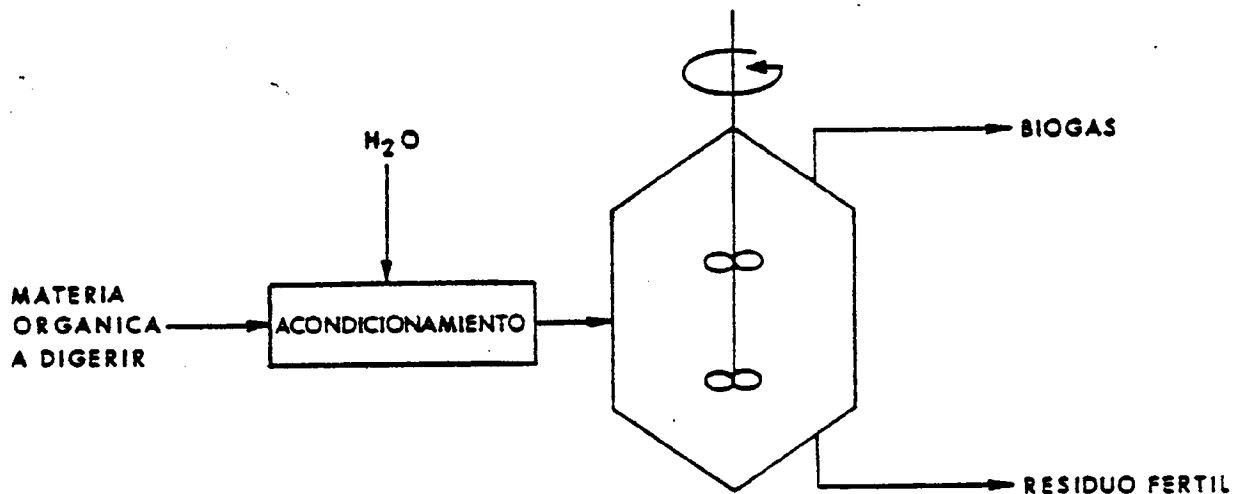
Para la instalación de una unidad de fermentación, es necesario cuantificar, tanto desde el punto de vista de materiales, como desde el punto de vista energético, todas las entradas y salidas del digestor con objeto de hacer los balances de materia y de energía mediante los cuales se saca el funcionamiento óptimo del proceso de digestión.

El balance de materiales como el balance energético y las variables que influyen en el proceso de fermentación metánica, deben tener un común objetivo y es el de llegar juntos a un balance económico mediante el cual se puedan tomar decisiones.

2.2.1.- Balances de proceso de digestión anaeróbica

2.2.1.1.- Balance de materiales

El sistema consta esencialmente de una entrada de los residuos orgánicos y dos salidas, una de gas y otra de residuo fértil, según se expresa en el esquema siguiente:



Esquema 4.- Diagrama simplificado del proceso de digestión metánica

La materia orgánica procedente de los lugares de estabulación del ganado junto con pajas, agua de lavado, pelo del animal, etc., llega a la unidad de fermentación, dentro de la cual, hay un límite de concentración para que la materia orgánica sea bombeable (menos del 10% de ST). Una vez rebajada la concentración, a menos del 10% es necesario separar todo el material que sea difícil de digerir, como piedras, pajas, etc. Esta parte del acondicionamiento, consta de una trituración y una separación en tamiz. La parte que no se digiere se le da diversos fines en la agricultura, y la orgánica digerible se manda al digestor, donde reside un cierto tiempo, a partir del cual los volátiles comienzan a pasar a la fase gaseosa produciéndose biogás. El residuo que no pasa a la fase gaseosa queda como fijo, aumentando la proporción inicial de los no volátiles, de tal forma que se hace más rico en N, P, K, teniendo un buen comportamiento como corrector de suelos y apareciendo en él, tanto material no degradable biológicamente, como materia que no ha tenido tiempo suficiente para biodegradarse.

Para realizar un correcto balance es necesario saber que las entradas y salidas no tienen un solo origen, así:

- . La materia influente en la cuba se compone del estiércol del animal, más los restos del consumo, como paja de la cama, pelo, agua de limpieza, etc., y en muchos de los casos agua adicionada en la etapa de acondicionamiento.
- . La materia que sale de la cuba se compone de residuo tratado y de purines salientes.

Es necesario estimar en la cuba:

- El peso de estiércol almacenado, con lo que se sacará la densidad de carga, así como se necesita también conocer su composición.

- El peso del residuo saliente del fermentador y su composición.

2.2.1.2.- Balance de energía

Una vez se tiene el estiercol a digerir, el balance de energía del proceso de digestión consta de dos partes:

- A - La energía consumida por el proceso
- B - La energía producida

No se tiene en cuenta la energía consumida por el propio animal (calor, luz de la estabulación, etc.) aunque la producida se puede emplear en todo esto.

En el proceso de digestión es necesaria energía en algunos casos, así por ejemplo, el digestor debe estar continuamente agitado, y además es necesario disponer de equipos de bombeo de sólidos y de gas, etc. También es necesario suministrar parte de la energía producida en calentar el material a digerir de tal forma que se obtenga una temperatura óptima en la digestión.

La energía neta producida es la diferencia entre la energía bruta y la suma de las energías consumidas en el proceso, así por ejemplo para una granja de cerdos con un digestor de 96,6 m³ (cilindro de 2,1 m de diámetro y 6,7 m de altura) con una temperatura de digestión de 35°C, se obtienen los siguientes resultados (American Society of Agricultural Society and Canadian Society of Agricultural Engineering) de la Tabla 15.

Cuando el funcionamiento del digestor es termofílico los parámetros a considerar en el balance de energía son los mismos, pero se obtienen diferentes rendimientos. Así por ejemplo en el caso de un fermentador a 55°C se obtienen los siguientes resultados (Chen et Al) (1980) para ganado vacuno, Tabla 16.

TABLA 15.- Energía necesaria para el funcionamiento de un digester de estiercol de cerdo en condiciones mesofílicas óptimas

TEMPERATURA EXTERIOR (°C)	TEMPERATURA ANTES DEL ACOND. (°C)	TEMPERATURA ENTRADA (°C)	ENERGIA CALENTAMIENTO (Wats)	OTRAS ENERGIAS	ENERGIA TOTAL NECESARIA (Wats)
27	13	24	470	3.120	3.590
16	13	24	940	3.120	4.060
4	11	23	1.378	3.354	4.732
- 7	- 7	21	1.817	3.899	5.716
- 18	4	20	2.257	4.290	6.547

TABLA 16.- Balance energético de una digestión termofílica (55°C)

CONCEPTO	Capacidad tonelada de ST/día			
	1	10	100	1.000
Volumen de trabajo del fermentador (m ³)	53,10	531	5.310	53.100
Producción de energía bruta (10 ⁹ J/día)	7,85	78,50	785,00	7.850,00
Energía térmica autoconsumida (10 ⁹ J/día)	1,757	16,15	156,50	1.543
Energía eléctrica consumida *				
. Bombeo **	0,0345	0,2830	0,5240	3,44
. Mezclados ***	0,5510	5,5100	55,1000	551
. Lavado CO ₂ , compresión CH ₄	0,3040	3,0420	30,4200	295
Producción energía neta (10 ⁹ J/día)	5,2040	53,52	542,46	5454,60
Relación energía neta/energía bruta (%)	66,30	68,20	69,10	69,5

(*) Se supone recuperación del 50% del calor efluente.

(**) 10 horas de bombeo, 300 m de longitud efectiva.

(***) Duración del mezclado 24 h/día.

2.2.2.- Variables que influyen en el proceso de digestión metánica

Desde el punto de vista químico, la fermentación metánica es un conjunto de reacciones consecutivas, controladas por enzimas y bacterias, que conducen a la degradación de la materia orgánica. Como tal fenómeno químico, la fermentación está influenciada por una serie de variables, que hacen que las reacciones se den en mayor o menor grado.

Desde el punto de vista microbiológico, debe de considerarse el crecimiento de la flora bacteriana, la cual toma parte en el proceso de fermentación, siendo el crecimiento más lento el que controle el fenómeno de digestión. Este crecimiento más lento, es el que corresponde a las bacterias metanogénicas, erigiéndose la etapa metanogénica como controlante del proceso de biometanización.

Bajo estos dos puntos de vista, hay que controlar el conjunto de variables, de tal forma, que la fermentación se encuentre en un punto óptimo respecto a producción de gas, ahorro energético, y cinética del proceso. Es por este motivo por el que se ha realizado el estudio de estas variables, el cual podrá ser aplicado en cada caso concreto, dependiendo del valor de las variables.

De esta forma la producción de gas varía con:

- El contenido en sólidos totales de la materia prima
- El contenido en paja de la materia prima
- La eficiencia de la digestión
- El tiempo de residencia (TRH)
- La temperatura (tipos de digestión)

2.2.2.1.- Variación de la producción de biogas
con el contenido en sólido totales
(ST) en el estiercol

Para este estudio se ha tomado un estiercol de cerdo con las siguientes características (*):

TABLA 17.- Características químicas del estiercol porcino usado en la experiencia

CONCEPTO	4% ST	6% ST			9% ST
		Mínimo	Máximo	Médio	
Contenido en sólidos totales (ST) (gr/l)	40,9	58,7	63,5	61,4	92,1
Contenido en sólidos volátiles (SV) (gr/l)	29,1	40,6	46,7	43,6	65,4
Nitrógeno amoniacal (N amoniacal) (mg N/l)	1.390	1.780	2.635	2.090	3.140
COD total (mg/l)	53.500	64.500	104.000	80.300	102.500
COD sobrenadante (mg/l)	12.900	17.500	23.300	19.400	29.000
AGV (**) (meq/l)	89	107	170	134	201
Compuestos aromáticos:					
. Fenoles (mg/l)	16,8	12,6	55,4	25,2	37,8
. p-cresoles (mg/l)	99,3	118,2	195,6	149,0	223,5
. 4 Etil-fenoles (mg/l) ...	7,5	5,7	14,4	11,2	16,8
. Indoles (mg/l)	1,5	0,6	3,7	2,2	3,3
. Escatoles (mg/l)	26,4	33,4	48,7	39,6	59,4

(*) Department of water pollution control agricultural university, Wageningen, The Wetherlans.

(**) Acidos grasos volátiles.

Frecuentemente, se encuentran estiercoles con altos contenidos en sólidos totales y que al ser sometidos a un proceso de digestión metánica dan bajos rendimientos, problemas de bombeo, etc., es por esto por lo que, se les adiciona cantidades de agua, que tengan contenidos orgánicos, tales como, aguas de bebida, de lavado, etc., con el animo de alcanzar tres objetivos por una parte el de limpieza del lugar donde se tiene el ganado estabulado mediante agua a presión (comodidad), por otra el de aumentar el rendimiento de la digestión y por último aumentar la facilidad de bombeo.

Particularmente, en el caso de cerdos, hay datos para reflejar la producción de gas de 35°C y con parámetro el tiempo de residencia, la función del contenido en sólidos totales, según expresa la tabla 18:

TABLA 18.- Valores de la producción de gas en función del contenido en sólidos totales (ST), con parámetro, el tiempo de residencia, para estiercol de porcino (m³ biogas/kg ST)

TRH (días)	ST (%)					
	2	3,3	4	6	9	9,5
10			170	203		56
15			232	232	226	
20				253	233	
30	300	297		260(*)	220	190

(*) TRH = 28 días

En la tabla puede observarse que para valores superiores al 6% de ST, disminuye bastante la producción de gas, in-

teresando por tanto diluir si es preciso el estiercol a valores de contenido en sólidos totales inferiores al 6% (Estiercol porcino).

Frecuentemente en estiercoles (Ej. aves) el contenido en sólidos totales llega a cifras del 28 al 30 por ciento, de los cuales, el 75% son volátiles y el 25% se consideran sólidos fijos, interesando diluirlos bastante. Generalmente la relación de sólidos volátiles en sólidos totales es la siguiente.

<u>Residuos</u>	<u>SV/ST</u>
Porcino	0,85
Vacuno	0,80
Aviar (pollos)	0,75

La diferencia entre el peso del estiercol y el peso de sólidos totales da una idea del grado de humedad del estiercol, dependiendo este de:

- El tipo de estiercol
- La edad del estiercol

2.2.2.2.- Variación de la producción de biogas con el tiempo de residencia (TRH).

El tiempo de residencia (TRH) es un factor muy importante a tener en cuenta, desde el punto de vista de diseño del reactor de digestión metánica, así como, de las condiciones de funcionamiento del mismo.

El tiempo de residencia óptimo, depende también de las características del estiércol en la alimentación del digestor, así por ejemplo, tiene mucha importancia la densidad de carga del estiércol, variando el contenido en sólidos totales y teniendo un tiempo de residencia óptimo para cada densidad de carga, estando además la producción de gas en función del contenido en sólidos volátiles en el estiércol.

En primera instancia, utilizando estiércol de cerdos, similar al utilizado en el apartado anterior se obtienen valores para digestores de laboratorio y de planta piloto a diferentes contenidos en sólidos totales en la alimentación (Tablas 19 a 22).

TABLA 19.- Resultados obtenidos en reactores de laboratorio, con una alimentación de estiércol de cerdo con 40 g ST/l, variando el tiempo de retención.

TIEMPO DE RETENCION (TRH) (DIAS)	15	10
* Biogas:		
Producción de gas ($\frac{\text{Litros biogas}}{\text{kg de ST}}$)	232	170
* Efluente:		
pH	7,6	7,45
Sólidos totales ST (g/l)	30,3	32,5
Sólidos volátiles SV (g/l)	19,8	21,7
Acidos grasos volátiles AGV (meq/l)	12,9	38,6
Reducción de sólidos totales (%)	28,4	23,2
Reducción de sólidos volátiles (%)	31,9	25,3
Reducción de ácidos grasos (%)	88,6	61,6

TABLA 20.-Resultados obtenidos en reactores de laboratorio con alimentación de estiércol de cerdo con 60 gramos ST/l variando el tiempo de retención.

TIEMPO DE RETENCION, TRH (días)	40	20	16	12,5	10
Biogás:					
Producción gas ($\frac{l. \text{ biogas}}{kg \text{ ST}}$)	280	253	232	202	203
Efluente:					
pH	7,7	7,8	7,9	7,8	7,7
Sólidos totales ST (g/l)	49,1	47,3	49,4	51,2	53,2
Sólidos volátiles SV (g/l)	33,9	29,7	34,2	33,9	35,4
Acidos grasos volátiles AGV (meq/l)	3,1	5,5	10,7	17,6	23,4
Reducción de sólidos totales (%)	22,6	25,5	22,2	19,5	16,2
Reducción de sólidos volátiles (%)	22,2	31,9	21,6	22,2	18,8
Reducción de ácidos grasos (%)	97,7	95,9	92,0	86,9	82,6

TABLA 21.- Resultados obtenidos en reactores de laboratorio con una alimentación de estiercol de cerdo con 90 gramos ST/l, variando el tiempo de retención.

TIEMPO DE RETENCION TRH (DIAS)	20	15	10
Biogas:			
Producción de gas ($\frac{l. \text{ biogas}}{kg \text{ ST}}$)	233	226	56
Efluente:			
pH	7,9	7,9	7,55
Sólidos totales ST (g/l)	77,2	79,2	85,9
Sólidos volátiles SV (g/l)	49,6	51,5	57,3
Acidos grasos volátiles, AGV (meq/l)	18,9	20,1	201,3
Reducción de sólidos totales (%)	19,0	16,9	9,8
Reducción de sólidos volátiles (%)	24,2	21,3	12,4
Reducción de ácidos grasos (%)	90,6	90,0	0,2

TABLA 22.- Resultados obtenidos en un reactor de 240 l con una alimentación de estiércol de cerdo con 60 gramos ST/l, variando el tiempo de retención.

TIEMPO DE RETENCION, TRH (DIAS)	40	20	15	12
Biogas:				
Producción de gas ($\frac{l. biogas}{kg ST}$)	262	265	245	223
Efluente:				
pH	-	-	-	-
Sólidos totales ST (g/l)	45,3	41,3	48,5	48,6
Sólidos volátiles SV (g/l)	28,5	27,2	31,1	31,5
Acidos grasos volátiles, AGV (meq/l)	4,2	4,2	3,5	4,7
Reducción de sólidos totales (%)	28,7	35,0	23,6	23,5
Reducción de sólidos volátiles (%)	34,6	37,6	28,7	27,8
Reducción de ácidos grasos (%)	96,9	36,9	97,4	96,5

Representando, de los valores obtenidos en el laboratorio, los valores de la reducción de Sólidos Totales frente al tiempo de residencia, queda una idea del transcurso de la digestión.

TRH	4%		6%				9%			
	10	15	10	12,5	16	20	40	10	15	20
Reducción de ST	23,2	28,4	16,2	19,5	22,2	25,5	22,6	9,8	16,9	19,0

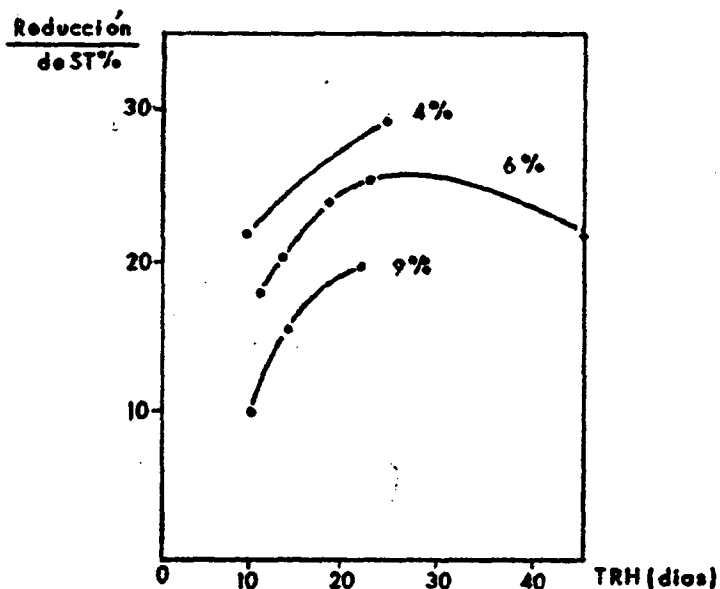


Grafico 4.- Variación de la reducción de Sólidos Totales en función del tiempo, según Department of water Pollution control Agricultural University. Wageningen, The Netherlands.

Análogamente a la reducción de sólidos totales, la producción de gas varía también con el tiempo de retención, siendo cada vez mayor, hasta que se llega a un máximo, en el cual debe ser estabilizada la producción. Si el sistema no es continuo y el reactor deja de alimentarse, en la segunda parte,

(ver grafico 4), de la curva disminuiría la producción de gas (TRH).

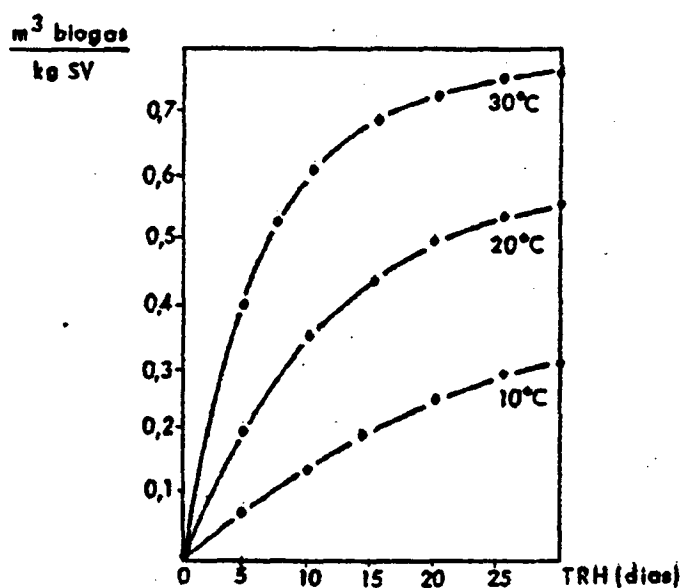


Gráfico 5.- Variación de la producción de gas con el tiempo de residencia (TRH) a diferentes temperaturas, para la digestión anaeróbica de lodos orgánicos, según Kociorowski y Kucharski (1972).

2.2.2.3.- Variación de la producción de biogás con el contenido en paja del estiercol

En la variación de la producción de biogás a partir de residuos de tipo ganadero, tiene una gran importancia, el contenido en paja que aporte el estiercol al digestor, ya que en algunos casos, alcanza cifras bastante importantes. Por este motivo se realiza un estudio de la producción de biogás, en función del contenido en paja del estiercol, en el cual

se procede bajo dos puntos de vista, la evolución de la digestión (características, ST, SV, DBO, etc.) y la producción del biogas, y en los dos casos (con paja y sin ella), utilizando es tiercol de ganado vacuno.

Primeramente es preciso saber el tipo de digestión deseada, ya que según sea esta, se produce de una forma o de otra. Cuando el estiercol es digerido con paja, es necesario pasarlo a triturar antes de ser digerido, pero cuando se quiere separar la paja es necesaria la utilización de tamices.

El estiercol antes de su tratado, es decir, tal y como se encuentra en su estado natural, tiene por término medio las siguientes características para el ganado vacuno .

Contenido en sólidos totales	16 - 20 %
Contenido en sólidos volátiles	11,2 - 14 %
Nitrógeno orgánico	0,4 - 0,6 %
DBO	30.000 - 36.000
Paja	35 - 67 %
Cenizas	4,8 - 6 %

Y la siguiente composición:

Ca	6,72 gr/l	Fe	9.480 ppm
Mg	1,05 gr/l	Mu	360 ppm
S	0,40 gr/l	Zn	240 ppm
P	0,90 gr/l	Cu	120 ppm
K	2,04 gr/l	Co	24 ppm
Na	0,54 gr/l		

Si el residuo, se manda a digestión con estas características, en la metanización se tienen ciertas dificultades, las cuales obligan a su dilución quedando:

Resultado de la dilución de estiércol vacuno

Tipo de Residuo	ST (%)	Cenizas (%)	SV (%)	Fibra (%)	DBO (ppm)
Con paja	8,9	3,0	5,5	33	15.000 - 20.000
Sin paja	5,0 - 5,5	1,8	3,5	24	13.000 - 19.000

Tomando como medio de ensayo, una digestión en continuo con adiciones diarias de residuos, se puede seguir el control de las siguientes variables a 37°C con un TRH = 15 ó 20 días:

Control de las variables en el proceso (3)

Tipo de Residuo	Densidad de carga	pH	Parámetros controlados		
			A volátiles (ppm)	(ppm)	NH ₃ (ppm)
Con paja ...	3	8	93	11.412	747
Con paja ...	4	6,8	637	3.212	286
Sin paja ...	2	7,5	21	3.953	1.131
Sin paja ...	3	7,4	42	3.829	660
Sin paja ...	6	7,6	62	8.733	782
Sin paja ...	8	7,1	310	8.894	966
Sin paja ...	9	7,3	362	10.015	945

Con el control del digestor en condiciones óptimas, teniendo en cuenta las variables anteriores, pueden ser obtenidos datos de ganado vacuno como los expresados en la Tabla 24, de la página siguiente.

2.2.2.4.- Influencia del pH

Los microorganismos, no son capaces de controlar algunas de las variables de la digestión (temperatura), pero por contra, si que son capaces de controlar el pH del medio. La concentración de (H⁺) influye bastante en el crecimiento de la flora microbiana y la tolerancia, a ciertos valores de la concentración de (H⁺), esta ligada con la composición de la membrana y con la permeabilidad selectiva de esta, dejando pasar solo pequeñas moléculas, no ionizables.

La mayor parte de las bacterias tienen un pH óptimo próximo a la neutralidad (con excepciones como las acetobacterias que actúan en pH ácido, produciendo ácido acético) encontrándose los mayores crecimientos de la flora en los enormes de pH 7 según expresa el gráfico 6 :

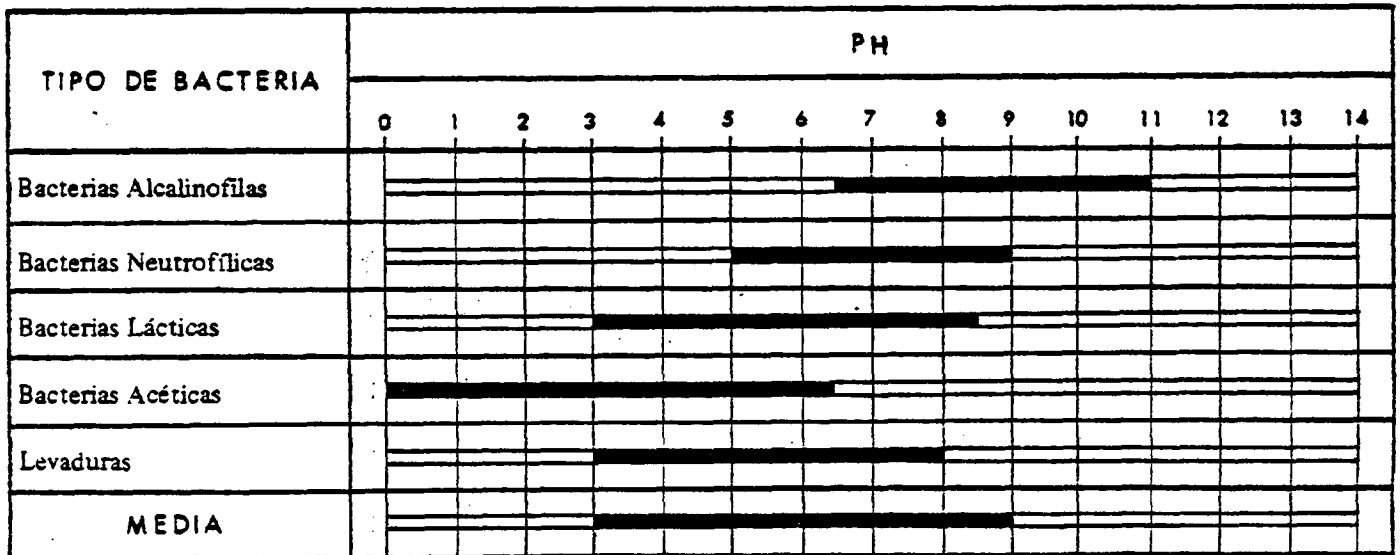


GRAFICO 6 - Sensibilidad de los Microorganismos al pH

TABLA 24.- Datos de producción en la digestión anaerobia de residuo vacuno con y sin paja (2)

TIPO DE RESIDUO	INFLUENTE			DENS. CARGA	EFLUENTE			EFICIENCIA		PRODUCCION DE GAS	
	ST g/l	SV g/l	DBO p.p.m.	ST gr/día	ST g/l	SV g/l	DBO p.p.m.	ST %	DBO %	ml/g ST	ml/día
Con paja	90	57	17.500	3	52	37	4.100	42	76	156	419
Con paja	88	76	19.600	4	30	24	5.565	56	72	158	697
Sin paja	47	37	14.500	2	17	11	2.000	64	86	188	441
Sin paja	47	37	14.500	3	23	15	3.400	52	76	231	762
Sin paja	56	37	19.300	6	42	29	6.400	25	67	163	916
Sin paja	56	37	19.300	8	44	30	6.850	30	65	138	1.156
Sin paja	46	38	13.700	9	42	28	10.225	10	25	189	1.751

2.2.2.5.- Influencia de la temperatura

La temperatura es una de las variables en el proceso de digestión, que tienen una doble incidencia en la fermentación. En principio, es importante considerarlo energéticamente para que el proceso sea rentable, y posteriormente desde el punto de vista de la producción de gas. Según todo esto se realiza un estudio enfocado bajo dos puntos de vista.

1º Desde el punto de vista energético

2º Desde el punto de vista de crecimiento microbiano

2.2.2.5.1.- Punto de vista energético de la influencia de la temperatura en el proceso de digestión metánica

El proceso de fermentación metánica, necesita una cierta cantidad de calor para mantener la temperatura en el rango dentro del cual se tenga una óptima producción de gas. Este rango de temperatura es diferente según sea el tipo de fermentación:

- Cuando la fermentación es CRIOFILICA (de 0º a 20º) apenas se obtiene cantidad alguna de gas.
- Cuando la fermentación es MESOFILICA (de 20 a 50º C) el rango de temperatura óptima es de 36 - 38º C, tal y como ponen de manifiesto los siguientes datos sobre estiércol porcino (4), (Departament of water Pollution Control Agricultural University, Wageningen The Netherlands) (Tabla 25) y que se encuentran representadas en el Gráfico 7.

En la Tabla 25 se observan las producciones de gas en

TABLA 25.- Producción de Metano (CH₄) en el biogas a diferentes temperaturas en el intervalo mesofílico (4)

PARAMETROS	Ta	P R O D U C C I O N		
	(° C)	$\frac{\text{l. biogas}}{\text{kg ST}}$	% CH ₄	$\frac{\text{lit. CH}_4}{\text{kg ST}}$
EXPERIENCIA "A"				
V dig = 45 l	A-1-20	242	71,1	172
TRH = 22 - 23 días	A-2-25	351	70,1	246
$3,3 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^3/\text{día}}$	A-3-30	379	69,0	262
$74 \frac{\text{gr ST}}{\text{día}}$				
EXPERIENCIA "B"				
V dig = 45 l	B-1-27	234	74,0	173
TRH = 15 días	B-2-32	255	72,8	186
$4,2 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^3/\text{día}}$	B-3-40	268	73,5	197
$63,3 \frac{\text{gr ST}}{\text{día}}$				
EXPERIENCIA "C"				
V dig = 45 l	C-1-13	0	-	0
TRH = 20 días	C-2-35	384	65,0	249
$3,6 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^3/\text{día}}$	C-3-55	315	58,5	184
$71,6 \frac{\text{gr ST}}{\text{l}}$	C-4-55	332	59,0	196

cada uno de los digestores, situado el de funcionamiento óptimo el denominado "B" que tiene altos porcentajes en la producción de CH_4 .

Cuando el rango de temperatura es el termofílico, la fermentación se hace óptima en intervalos próximos a los 55°C

De forma orientativa, estas evoluciones, en cuanto a la producción de gas, y los intervalos de temperatura, se encuentran plasmados en los gráficos 7 y 8 a efectos generales y no de cálculo.

2.2.2.5.2.- Punto de vista microbiológico de influencia de la temperatura en el proceso de digestión metánica

El proceso de fermentación metánica, es viable a dos niveles de temperatura diferentes (mesofílico y termofílico) y dentro de cada intervalo, existe una temperatura óptima, la cual hace máximo el crecimiento microbiano. Esta afirmación se encuentra respaldada al saber además que los microorganismos, contrariamente a los animales superiores, no pueden regular su temperatura, por lo que tienen la temperatura del medio en el que se encuentran.

Como muestra la gráfica 7, se puede observar que para cada microorganismo existe una temperatura, en la cual, el crecimiento de la flora microbiana se hace óptimo.

Cuando la temperatura se encuentra por debajo del valor óptimo, un aumento de la temperatura de 10°C , multiplica aproximadamente por dos la tasa de crecimiento. En este caso se verifica la Ley de Arrhemius para el caso de microorganismos.

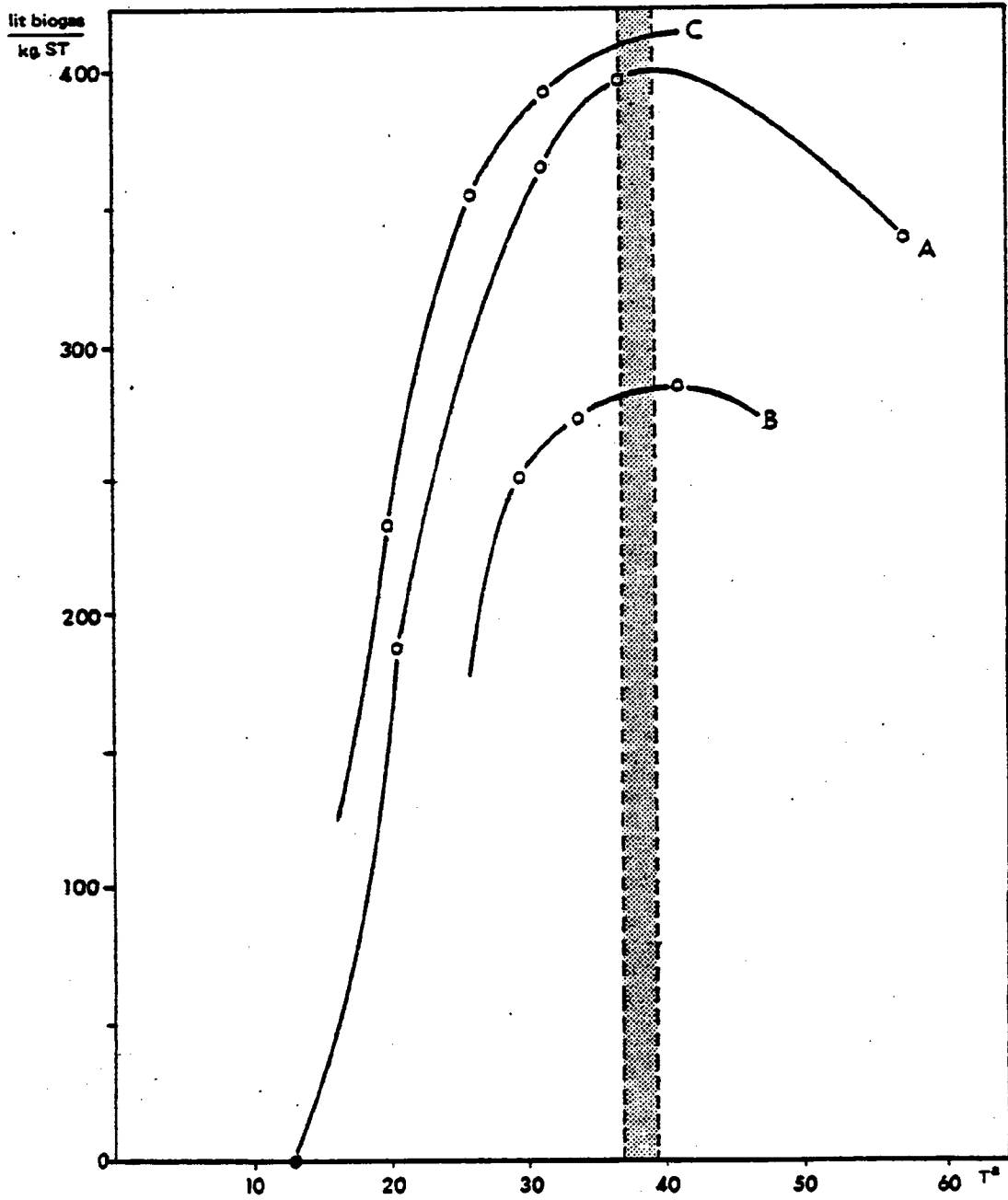


GRAFICO 7 - Variación cualitativa de la producción de gas en función de la temperatura en el intervalo mesofílico.

Intensidad de la fermentación, μ
(valor relativo)

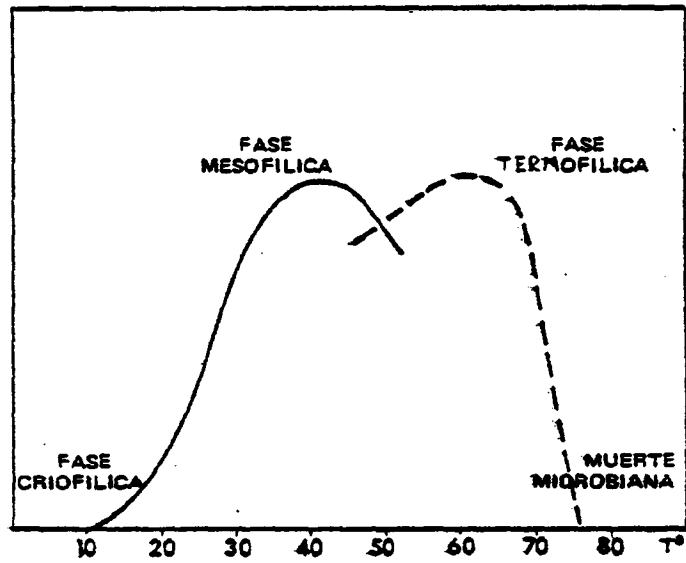


GRAFICO 8.— Intensidad de la fermentación en función de la temperatura.
Tipos de fermentación .

mos.

$$r_{T2} - r_{T1} = \frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Expresión de la cual $r_{T_{1,2}}$ es la tasa o velocidad de crecimiento, T_1 y T_2 son los dos temperaturas en $^{\circ}\text{K}$, E_A es la energía de activación en cal/mol y por último $R = 1,98 \frac{\text{Cal}}{\text{mol } ^{\circ}\text{K}}$

Esta ley es aplicable a la mayor parte de los procesos enzimáticos, pudiendo ser aplicable a velocidades de crecimiento, en unos límites de temperatura bien conocidos, y propios de cada microorganismo.

2.2.3.- Eficiencia de la digestión

Se puede definir respecto a los sólidos totales como: la variación porcentual entre el contenido en sólidos que entre al digestor y el que sale en el efluente.

En la Tabla 26 puede observarse que, cuando mayores el tiempo de residencia en el digestor mayor es la eficiencia de la digestión:

TABLA 26 .- Eficiencia en la digestión de estiércol porcino, según varia el TRH.

ST (%)	TRH (DIAS)			
	10	12	15	20
4	18,75		24,25	
6	11,33		16,81	21,17
6 *		19,00	19,17	31,17
9	4,56		12,00	14,22

(*) Ensayos realizados en planta piloto.

Intensidad de la
fermentación (μ)
(valor relativo)

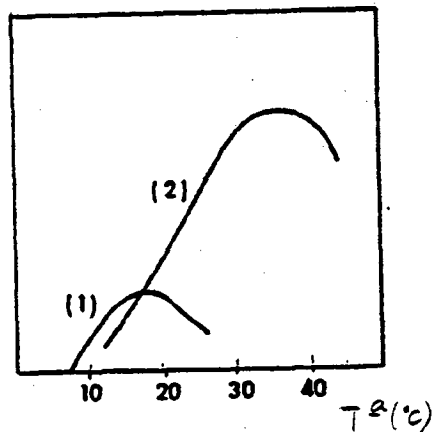


Gráfico 9 .- Variación de la intensidad de la fermentación con la temperatura. Tipos de Bacterias.

-
- (1) Bacterias psicrófilas
(2) Bacterias mesófilas

En la tabla 26, también puede apreciarse, que cuanto mayor es el contenido en sólidos totales, menor es la eficiencia del digestor para un mismo tiempo de residencia, así como, cuando el reactor es de planta piloto, se alcanzan mayores eficiencias que en el laboratorio.

La eficiencia, tal y como muestra la Tabla 27, tiene gran incidencia sobre los ácidos grasos volátiles (AGV), la demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 y la demanda química de oxígeno DQO, transformándose estos en menor o mayor grado, según sea la eficiencia del sistema.

TABLA 27.- Influencia de la eficiencia sobre los ácidos grasos, materia seca, DBO, DQO, etc.

M A T E R I A	T _a			
	30° C		35° C	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
Materia seca (%)	3,35	2,19	3,30	2,10
AGV (mg/l)	4695	715	3697	274
NH ₃ (mg/l)	1734	1952	1237	1044
DBO ₅ ppm	9550	2200	14672	2567
DQO ppm	41305	20971	46920	21956

2.3.- ASPECTOS ECONOMICOS DE LA DIGESTION DE RESIDUOS

En el caso de la digestión anaerobia de residuos, la metodología del análisis económico es necesariamente distinta de la seguida para la combustión, el factor diferencial de ambas es que mientras en el caso de la combustión el análisis se realiza desde la optica de la rentabilidad, en el caso de la digestión, el análisis se realiza desde la optica del coste solo y exclusivamente.

La razón es muy clara: mientras que el balance energético de la combustión, traducido a balance económico en base al precio de la energía producida, resulta positivo en la mayor parte de los casos, en la digestión, el resultado es el contrario.

El balance energético de la digestión es positivo por supuesto, pero la valoración económica del saldo positivo de energía de este balance no basta para cubrir en muchos casos los costes operacionales del equipo de digestión y prácticamente en ninguno los gastos financieros y la amortización del capital inmovilizado representado por equipos e instalaciones.

De lo dicho hasta ahora se deduce una conclusión básica: La digestión anaerobica como medio de obtención de energía no es un proceso rentable desde el punto de vista de la comparación del valor de la energía obtenida con relación a las inversiones realizadas y a los costes operativos que lleva aparejados.

Esta conclusión sólo tiene dos excepciones en el estado actual de la técnica:

- a) Los pequeños digestores rurales, de capacidad pequeña ($>50\text{m}^3$), que requieren una inversión mínima y en los cuales es inexistente el concepto de coste operativo representado por el tiempo que el granjero dedica a su operación y mantenimiento. Si este tiempo se valora en jornales, la rentabilidad desaparece rápidamente.
- b) Algunos digestores de gran capacidad ($<10.000\text{m}^3$) aplicados a la digestión de residuos muy especializados (efluentes de alcohólicas enormemente diluidos) y cuyos resultados no están hoy en día plenamente contrastados.

Este no es un planteamiento definitivo, ya que los trabajos de investigación y desarrollo actualmente en curso pueden dar lugar, y darán como resultado, a digestores con más altas características con relación a los dos parámetros básicos de la rentabilidad de los mismos:

- Generación específica, expresada en m^3 de biogas por m^3 de digestor.
- Tiempos de permanencia gradualmente menores.

Hasta ahora hemos contemplado el aspecto puramente económico de la digestión de residuos bajo el prisma exclusivo del valor del biogas producido pero existe otro ángulo de aproximación al problema cuya óptica es totalmente diferente.

Este ángulo es el de las características de los residuos susceptibles de tratamiento por digestión, que presentan un denominador común que es su alta capacidad contaminante.

En efecto, estos residuos cuya presentación en la mayoría de los casos es la de elementos líquidos o semisólidos presentando unos altísimos índices DBO y DQO que caso de ser direc

tamente vertidos en los cursos fluviales, producen verdaderas catástrofes ecológicas en los mismos y que caso de ser almacenados en balsas, sigue presentando problemas continuos de contaminación por filtraciones, olores, etc. y representando de forma continua la amenaza potencial del desbordamiento de las mismas por cualquier causa.

Ante este tipo de residuos, la empresa que los genera se puede encontrar dos actitudes: una de permisividad representada por la falta de legislación o deficiente aplicación de la misma o con una legislación que controle el vertido de estos residuos con unas estrictas reglamentaciones sobre tratamientos previos y unas penalizaciones disuasorias suficientes.

Es en este segundo caso donde los procesos de digestión metánica alcanzan su plena justificación en el estado actual de la técnica, ya que en estos casos, las inversiones y distintos costes del mismo ya no son imputables al biogas producido sino al proceso básico de producción que genera los residuos y por tanto deberán ser soportados por dichos procesos.

Como ejemplo práctico consideramos el caso de los efluentes de una azucarera. En ausencia de legislación sobre vertidos, la consideración de instalar un sistema de digestión de estos efluentes sólo se analizará desde el punto de vista de la rentabilidad del biogas producido. Es decir el m^3 de biogas debe cargar con la amortización y costes del equipo de digestión.

Si por el contrario la empresa azucarera se ve obligada por la legislación vigente a depurar sus efluentes de acuerdo con unas normas dadas, los digestores y otros equipos de depuración gravitarán sobre la producción de la fábrica, es

decir, es el kilogramo de azúcar producido el que ha de soportar los costes del equipo de depuración. En este contexto el valor de la energía representada por el biogas producido es un valor añadido o si se desea un menos coste de una instalación que ahora tiene la misma consideración de los que interviene en el proceso productivo propiamente dicho.

En base a estas consideraciones es por lo que se justifica el análisis de los digestores solamente desde la óptica del coste.

El análisis de costes se ha realizado para una amplia gama de capacidades tanto en régimen termofílico como mesofílico. Dado que el número de aplicaciones es relativamente pequeño y los resultados que se obtienen difieren unos de otros se cita en cada caso, la fuente del dato para facilitar la contrastación del mismo.

2.3.1.- Inversiones

a) Régimen mesofílico

Capacidad (m ³)	Rendimiento (m ³ /m ³ día)	Inversión (Hp)	MP/m ³	Fuente
30	4,5	3,3	0,11	(1)
59	0,7	2,8	0,05	(5)
100	4,5	6,8	0,68	(1)
127	1,1	3,7	0,03	(3)
166	0,8	7,4	0,04	(2)
332	0,8	8,4	0,03	(2)
378	0,8	12,0	0,03	(2)
500	4,5	19,4	0,04	(1)
664	0,8	10,3	0,02	(2)
2.500	4,5	72,4	0,03	(1)
5.000	4,5	119,2	0,02	(1)
13.800	0,7	140,0	0,01	(4)
21.400	1,6	210,0	0,01	(4)

Fuentes: (1) Langley (2) Coppinger (3) Fisher (4) Schmidt (5) Lapp.

b) Régimen termofílico

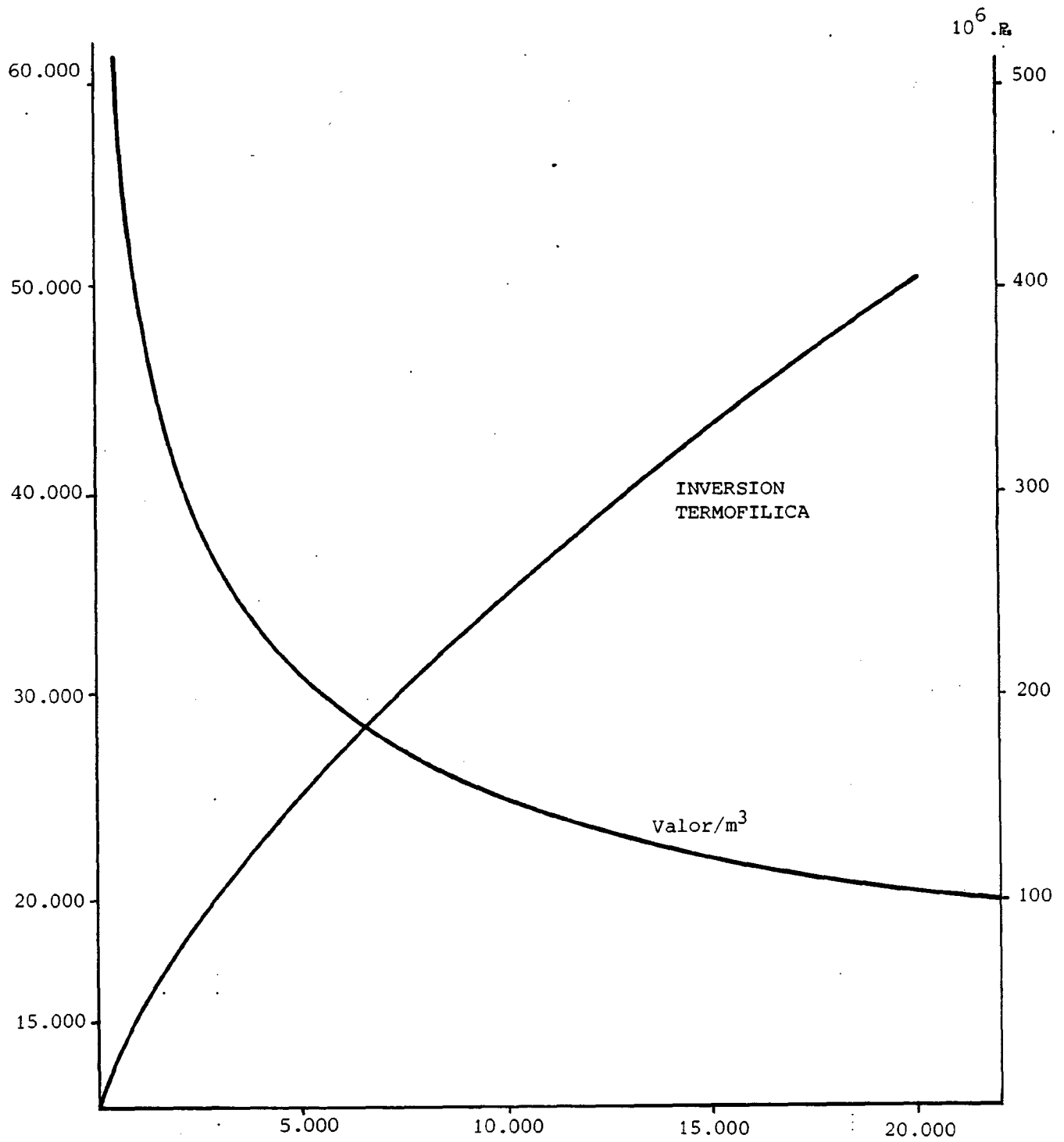
Capacidad (m ³)	Rendimiento (m ³ /m ³ dfa)	Inversión (MP)	MP/m ³	Fuente
186	3,64	17,5	0,10	(6)
372	3,64	26,3	0,07	(6)
930	3,64	49,0	0,05	(6)
1.444	1,70	58,0	0,04	(7)
1.860	3,64	78,4	0,04	(6)
2.011	0,81	78,3	0,03	(7)
2.520	3,03	182,81	0,03	(7)
4.650	3,64	147,70	0,03	(6)
5.664	3,81	149,30	0,03	(7)
9.300	3,64	264,60	0,03	(6)
11.328	3,81	236,72	0,02	(7)
18.600	3,64	487,90	0,03	(6)
18.861	3,81	337,70	0,02	(7)

Fuentes: (1) Hastimoto (2) Ashare

Los datos obtenidos para cada uno de los casos, se han correlacionado estadísticamente en base a una función inversa del tipo $Y = a x^{-b}$ obteniéndose un grado de correlación $r^2=0,75$ ($r = 0,87$), los gráficos 10 y 11 son la representación de estas funciones de correlación para la inversión.

2.3.2.- Cortes operativos

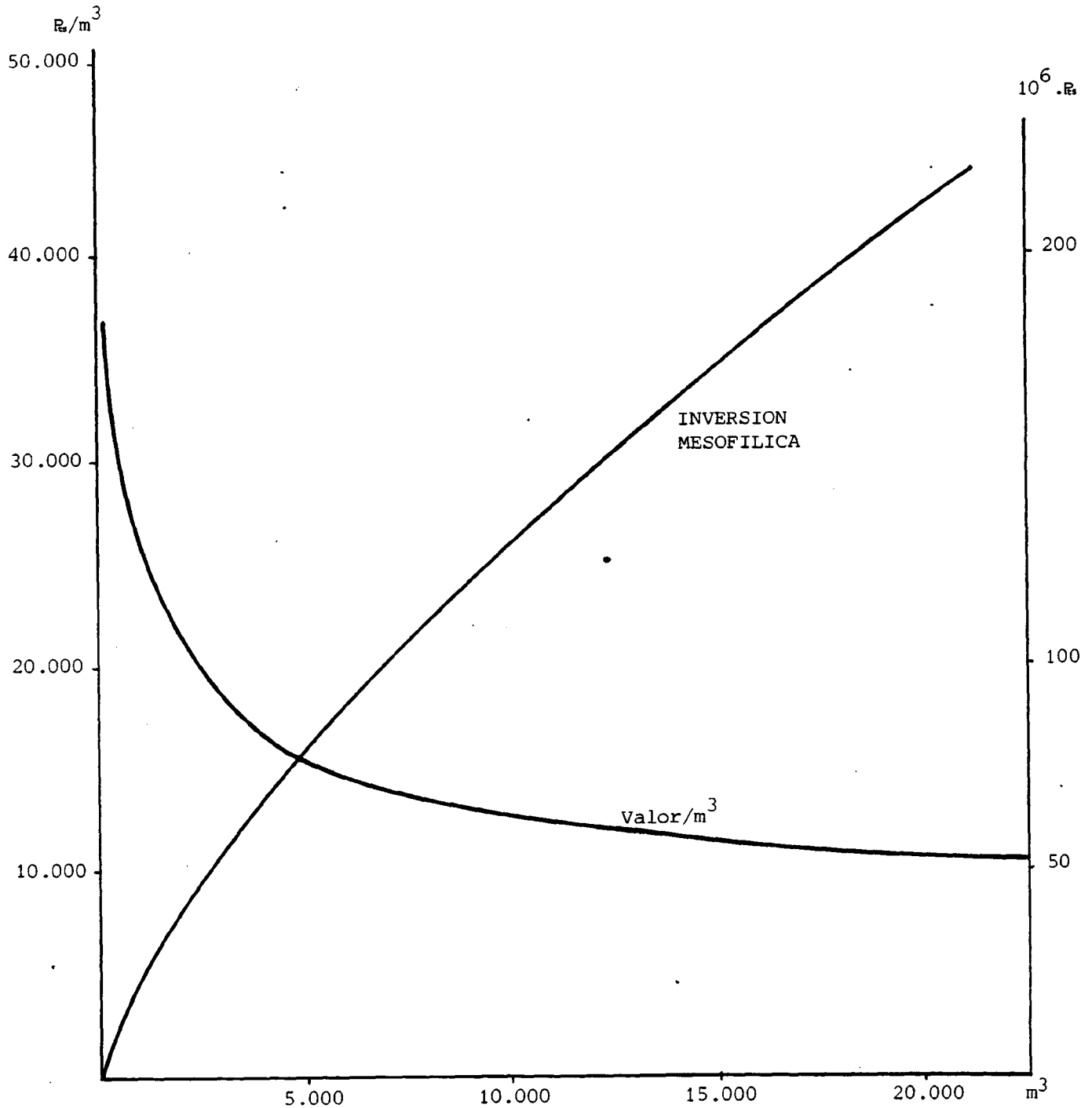
De todas las fuentes consultadas, la más objetiva en función del número de datos recogidos es la publicación THE OVERALL ECONOMICS OF ANAEROBICS DIGESTION de los autores A.G. HASTIMOTO y Y.R. CHEN que da el siguiente cuadro de la página 109, para este parámetro.



VALORES EXTRAPOLADOS:

m ³	100	200	500	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000
10 ⁶ .R	9,97	16,18	30,72	49,88	80,98	153,70	249,56	405,21
R/m ³	99.979	80.924	61.434	49.875	40.491	30.739	24.956	20.260

GRAFICO 10.- Inversión de digestores en régimen termofilico según la capacidad instalada



VALORES EXTRAPOLADOS

m^3	100	200	500	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000
$10^6.R$	4,93	8,07	15,47	25,32	41,43	79,42	129,95	212,61
R/m^3	49.332	40.357	30.949	25.319	20.713	15.884	12.995	10.631

GRAFICO 14 : Inversión de digestores en régimen mesofílico según la capacidad instalada

TABLA 28.- Costes operativos del proceso de digestión metánica

C (m ³)	R. MESOFILICO				R. TELMOFILICO			
	Mantenimien_ to (10 ⁶ R/a)	Mano de Obra (10 ⁶ R/a)	C.Fijos+Energ (10 ⁶ R/a)	TOTAL (10 ⁶ R/a)	Mantenimiento (10 ⁶ R/a)	Mano de Obra (10 ⁶ R/a)	C.Fijos+Energ (10 ⁶ R/a)	TOTAL (10 ⁶ R/a)
100	0,018	3,99	3,96	7,97	0,021	3,99	5,02	9,02
200	0,05	4,87	4,65	9,57	0,06	4,87	5,89	10,82
500	0,15	6,33	6,74	13,22	0,16	6,33	8,54	15,03
1.000	0,31	7,73	10,21	18,25	0,34	7,73	12,94	21,01
2.000	0,63	9,43	17,17	27,23	0,70	9,43	21,74	31,87
5.000	1,60	12,26	38,02	51,88	1,78	12,26	48,16	62,20
10.000	3,12	14,96	72,77	90,95	3,57	14,96	92,19	110,72
20.000	6,44	18,26	142,29	166,99	7,16	18,26	180,23	205,65

COSTES FINANCIEROS Y AMORTIZACION DEL PROCESO DE DIGESTION METANICA (10⁶ E/año)

C(m ³)	DIGESTION MESOFILICA												DIGESTION TERMOFILICA										
	A		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100	9,91	i	0,64	0,61	0,57	0,52	0,47	0,42	0,35	0,28	0,20	0,10	1,84	1,30	1,25	1,15	1,06	0,96	0,84	0,71	0,56	0,40	0,21
		a	0,27	0,30	0,34	0,39	0,44	0,49	0,56	0,63	0,71	0,81		0,81	0,54	0,61	0,68	0,78	0,88	1,00	1,13	1,28	1,44
200	1,49	i	1,05	0,99	0,93	0,86	0,77	0,68	0,58	0,46	0,32	0,17	2,98	2,10	1,99	1,86	1,71	1,55	1,36	1,15	0,92	0,65	0,34
		a	0,44	0,50	0,56	0,63	0,72	0,81	0,91	1,03	1,17	1,32		1,32	0,88	0,99	1,12	1,27	1,43	1,62	1,83	2,06	2,33
500	2,85	i	2,01	1,90	1,78	1,64	1,48	1,30	1,10	0,88	0,62	0,33	5,66	3,99	3,78	3,53	3,26	2,94	2,59	2,19	1,74	1,23	0,65
		a	0,84	0,95	1,07	1,21	1,37	1,55	1,75	1,97	2,23	2,52		2,52	1,67	1,88	1,13	1,40	2,72	3,07	3,47	3,92	4,43
1.000	4,67	i	3,29	3,11	2,91	2,68	2,43	2,14	1,81	1,43	1,01	0,54	9,19	6,48	6,13	5,73	5,28	4,78	4,20	3,55	2,82	1,99	1,06
		a	1,38	1,56	1,76	1,99	2,24	2,53	2,86	3,24	3,66	4,13		4,13	2,71	3,06	3,46	3,91	4,41	4,99	5,64	6,37	7,20
2.000	7,63	i	5,38	5,09	4,76	4,39	3,96	3,49	2,95	2,34	1,65	0,88	14,92	10,52	9,95	9,31	8,58	7,75	6,82	5,77	4,58	3,24	1,72
		a	2,25	2,54	2,87	3,24	3,67	4,14	4,68	5,29	5,98	6,76		6,76	4,40	4,97	5,61	6,34	7,17	8,10	9,15	10,34	11,68
3.500	14,64	i	10,33	9,77	9,13	8,42	7,61	6,69	5,66	4,50	3,17	1,68	28,32	19,98	18,89	17,67	16,28	14,72	12,95	10,95	8,69	6,14	3,26
		a	4,31	4,87	5,51	6,22	7,03	7,94	8,98	10,14	11,47	12,96		12,96	8,34	9,43	10,65	12,04	13,60	15,37	17,37	19,63	22,18
10.000	23,95	i	16,89	15,98	14,94	13,77	12,45	10,95	9,26	7,35	5,19	2,76	45,99	32,44	30,68	28,69	26,44	23,90	21,03	17,78	14,12	9,97	5,29
		a	7,06	7,97	9,01	10,18	11,50	13,00	14,69	16,60	18,76	21,20		21,20	13,55	15,31	17,30	19,55	22,09	24,96	28,21	31,87	36,02
20.000	39,18	i	27,64	26,14	24,44	22,53	20,36	17,92	15,15	12,03	8,50	4,51	74,68	52,68	49,82	46,59	42,94	38,81	34,15	28,88	22,92	16,20	8,59
		a	11,54	13,04	14,74	16,65	18,82	21,26	24,03	27,15	30,68	34,67		34,67	22,00	24,86	28,09	31,74	35,87	40,54	45,80	51,76	58,48

2.3.3.- Costes financieros y amortizaciones

Con los valores de inversión deducidos de los gráficos 10 y 11 sobre la base de un crédito al 13% (que supone una financiación subvencionada sobre al menos el 50% de la inversión) y en plazo de amortización a 10 años, se ha compuesto el cuadro nº en el cual aparecen estos parámetros calculados sobre la base de amortización y pago de intereses en anualidades constantes.

2.3.4.- Ingresos

Con los valores de producción correspondientes a las capacidades extrapoladas se ha elaborado el cuadro de ingresos los cuales se han valorado en base a los precios del GLP para usos industriales.

C (m ³)	MESOFILICOS		TERMOFILICOS	
	Producción (m ³ /a)	Valor (MP)	Producción (m ³ /a)	Valor (MP)
100	83.950	3,51	119.350	4,99
200	167.900	7,01	238.710	9,97
500	419.750	17,54	596.770	24,93
1.000	839.500	35,07	1.193.550	49,86
2.000	1.679.000	70,14	2.387.100	99,73
5.000	4.917.500	175,36	5.967.750	249,32
10.000	8.395.000	350,72	11.935.500	498,64
20.000	16.790.000	701,44	23.871.000	997,27

El cuadro de situación que genera este conjunto de datos resulta o bien negativo o bien con unas perspectivas de

rentabilidad exiguas por lo cual y tal como se dijo en la introducción, estos datos deben considerarse aisladamente como elementos de coste generales y los ingresos como un menor coste o valor añadido.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. BRYANT, M.P. (1979), "Microbial Methane production-theoretical aspects", J. Ani. Aci, 48 (1), 193-201.
2. "Aprovechamiento energético de residuos de alcoholeras", Gloria M^a. Mastrojuan Sáez de Láuregui, marzo, 1982. Instituto de la Grasa (Sevilla).
3. "Le courrier avicole , 1.500 ponedoras en Alsacia, producción de biogas, compost y sin polución".
4. "Anaerobic digestion of piggery waste. Department of water pollution control", Agricultural University, Wageningen, the Netherlands.
5. CNEEMA. BI nº 20, septiembre 1974. "Production e utilisation du gaz de fumier-methane biologique".
6. "Anuario de Estadística Agraria, 1974, 76, 78, 80".
7. "Depuración de los residuos de matadero por procesos de biometanización. Angel García Buendía y José A. Fiestas Ros de Ursinos, Instituto de la Grasa (Sevilla, 1982).
8. Primeras Jornadas Nacionales de Ingeniería Rural, Valladolid. "Tratamiento de las deyecciones animales y residuos de las industrias agrarias", José Caballero.
9. "La degradación anaerobia con producción de metano aplicada a la materia orgánica". Comité conjunto Hispano-Americano para la Cooperación Científica y Tecnológica-ENADIM-SA.

10. Conferencia Mundial de la Energía (Comité Nacional Español) Datos estadísticos sobre la producción y el consumo de energía en España, agosto 1982.
11. "Energías renovables en el medio rural (CEOTMA-ETSIA), Aprovechamiento energético de alpechin y de otros efluentes de industrias agrícolas". J.A. Fiestas Ros de Ursinos, Instituto de la Grasa -CSIC- (Sevilla), Madrid, mayo 1982.
12. CARBALLO, J., 1973. "Tratamiento de deyecciones animales y residuos de las industrias agrarias". Valladolid, Primeras Jornadas Nacionales de Ingeniería Rural.
13. "Evaluación de residuos orgánicos para su aprovechamiento integral", dirigido al Subdirector General de Recursos Patrimoniales y Repoblación Forestal, registro de entrada en ICONA 959. Febrero 1982, Huelva.
14. "Obtención de energía en explotaciones agropecuarias". III Simposium Nacional sobre Combustión organizado por ANQUE en Valencia, 2-5 de marzo de 1982.
15. Anuarios Estadística Agraria, 1974, 76, 78, 80, Ministerio de Agricultura, Madrid.
16. "Estudio de los procesos de tratamiento de biomasa como fuente energética para España". Madrid, diciembre 1981.
17. "La valorisation energetique des pailles, lisiers, fumiers, aspects économiques". Institut National de la Recherche Agronomique. Feb. 1980.
18. "La biomasa como fuente energética (Ministerio de Industria y Energía), Mayo 1981.

19. "Bioconversión energía y agricultura". Pierre-Alain Jayet (Institut National de la Recherche Agronomique).
20. Preparativos sustantivos para la conferencia: Informe del Grupo Técnico sobre energía de biomasa acerca de su segundo periodo de sesiones. Asamblea General de las Naciones Unidas, 28 enero 1981.
21. "Aprovechamiento energético de residuos agrícolas de Puente Genil (Córdoba) - PEN.
22. Secretaria de Planificación de Presidencia del Gobierno. "Informe general del medio ambiente en España (1977)".
23. HEUKELEKIAN, H. "A Discussion of the Symposium on Sludge" Sewage Works Journal (1958) 30, 1108-1120.
24. JACOBS, H. & BISWAS, A.K. "Solid wastes management problems and perspectives". Environmental Canadá, marzo 1972.
25. Exposición general sobre sistemas de tratamiento, eliminación y aprovechamiento. Juan Antonio Ferrando López-Cor-dón. CIFCA, abril 1978.
26. Censo de la población. Instituto Nacional de Estadística.
27. Incineración con recuperación de energía revertible en la propia ciudad. Gloria Campos Martínez. Madrid, 1981.