



e. n. adaro

CARBON VEGETAL-2ª FASE

INFORME DE PRUEBAS DE CARBONIZACION Y ESTUDIO DE
RENTABILIDAD DE INSTALACIONES SISTEMA CARBOTECNICA

PEN

MARZO 1985

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

TÍTULO	<u>CARBON VEGETAL-2a FASE</u> <u>INFORME DE PRUEBAS DE CARBONIZACION Y ESTUDIO DE</u> <u>RENTABILIDAD DE INSTALACIONES SISTEMA CARBOTECNICA</u>
CUBETA	PEN
FECHA	MARZO 1985

Referencia: P-38010

Departamento: Unidad Residuos Sólidos

Responsable: Francisco Pérez Romero

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- GENERALIDADES	1
1.1.- PROCESO CARBOTECNICA	1
1.2.- DATOS BASICOS	1
1.3.- UTILIZACION DEL GAS PRODUCIDO	2
1.4.- UTILIZACION DEL CARBON	3
2.- INSTALACION DE INOLCA, S.L.	4
2.1.- ANTECEDENTES	4
2.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO	5
2.3.- MARCHA DE LA INSTALACION	5
3.- OBTENCION DE DATOS	6
3.1.- PRUEBAS DE CARBONIZACION	7
3.2.- MEDICION DE GASES	8
3.3.- ANALISIS DE CARBON VEGETAL	15
4.- RESUMEN DE DATOS	17
4.1.- ASTILLAS TODO-UNO DE ENTRADA	17
4.2.- CLASIFICACION	17
4.3.- SECADO	17
4.4.- CARBONIZACION	18
4.5.- GAS	18
4.6.- RENDIMIENTO DEL PROCESO	18
5.- COMENTARIOS A LOS DATOS OBTENIDOS	19
6.- TRADUCCION DEL INFORME DE CARBOTECNICA	30
7.- CONCLUSIONES	40

	<u>Págs.</u>
8.- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE IMPLANTACION DE UNA UNIDAD DE CARBONIZACION-GASIFICACION	41
8.1.- INSTALACION PLANTA	41
8.2.- DATOS TECNICOS BASICOS	41
8.3.- DESCRIPCION TECNICA DE LA INSTALACION	43
8.4.- INVERSIONES DE LA INSTALACION	44
8.5.- RENTABILIDAD DE LA INSTALACION	48
9.- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE OTRAS INSTALACIONES DE CARBONIZACION-GASIFICACION	55
9.1.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 14.000 t/AÑO - DE ASTILLAS (2 CAMARAS)	55
9.2.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 21.000 t/AÑO DE ASTILLAS (3 CAMARAS)	62
9.3.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 28.000 t/AÑO DE ASTILLAS (4 CAMARAS)	68
10.- CONCLUSION FINAL	75

1.- GENERALIDADES

1.1.- PROCESO CARBOTECNICA

Carbotécnica dispone de un moderno sistema de gasificación-carbonización en la que mediante su cámara de gasificación-carbonización (C.G.C.) patente de dicha empresa, puede procesar de forma continua residuos forestales con el fin de obtener gas combustible sustitutivo del fuel-oil de uso industrial y carbón vegetal.

La cámara de gasificación-carbonización está constituida fundamentalmente por un horno de solera inclinada en la que entran los residuos leñosos con una granulometría no superior a 50 mm y un pequeño caudal de aire, con el que se produce una combustión incompleta de la que se obtiene gas combustible (mezcla de destilados y gases) y carbón vegetal.

1.2.- DATOS BASICOS

La capacidad de tratamiento de cada módulo C.G.C., que ocupa una superficie en planta de 12 m^2 , es de 1.000 kg/h de productos leñosos con un contenido en humedad máximo del 15% y un poder calorífico inferior de 3.750 Kcal/kg, obteniéndose aproximadamente 1.000 kg/h de gas combustible de 2.000 Kcal/kg, o sea, 2×10^6 Kcal/h y 200 kg/h de carbón vegetal de unas 6.500 Kcal/kg, o sea $1,3 \times 10^6$ Kcal/h, con lo que se obtiene un

un rendimiento en el proceso de gasificación-carbonización del orden del 88%.

Naturalmente, todos estos valores dependerán del contenido de humedad y de la propia naturaleza de los residuos que se empleen, según su contenido en sustancias minerales (cenizas), proporciones de lignina, celulosa, ceras, resinas, etc.

Con este sistema se pueden variar las producciones de gas y carbón en función del mayor o menor grado de gasificación que se desee. Sin embargo, a partir de ciertos límites, disminuye el rendimiento horario de las cámaras, al ser la gasificación del carbono fijo un fenómeno intrínsecamente más lento - que la destilación de los elementos volátiles, reduciéndose la calidad del carbón como consecuencia de su mayor contenido en cenizas, una vez que todas las sustancias minerales se hayan carbonizado.

Otro argumento en contra de una excesiva gasificación - se debe al valor que posee un buen coque vegetal (muy reactivo y sin azufre ni volátiles), superior al valor que tendría según su contenido energético.

1.3.- UTILIZACION DEL GAS PRODUCIDO

El gas combustible que se produce se puede quemar en los hornos o cámaras de combustión que utilizan normalmente combustibles derivados del petróleo, como es el caso de los generadores de vapor.

Se recomienda la selección de industrias que funcionen las 24 horas del día y a ser posible sin grandes variaciones de régimen, pues de esta manera se simplifica la utilización del sistema de CARBOTECNICA.

1.4.- UTILIZACION DEL CARBON

El carbón vegetal que se produce, después de un enfriamiento continuo, se almacena para su posterior expedición a los centros de consumo o a aquellas otras industrias que lo someten a algún tratamiento posterior (activación, fabricación de briquetas, etc.)

2.- INSTALACION DE INOLCA, S.L.

2.1.- ANTECEDENTES

Con objeto de contrastar los datos dados por CARBOTECNICA se estableció con fecha 17.5.84 contrato de uso, con la Empresa Industria Oleícola Cacerena, S.L. (INOLCA, S.L.) en Cáceres, de su instalación de cámara de gasificación-carbonización (CGC), en la que se pretendía en principio procesar 700 t de astillas previamente picadas en campo, procedentes de entresaca, poda y limpieza de bosque de pino a suministrar por ICONA de Cáceres.

Un posterior incendio del bosque, hizo que ICONA no pudiera suministrar el total de astillas previstas, por lo que la campaña se ha realizado con 370 t, cantidad que ha sido suficiente para la obtención de datos.

Para alimentar la cámara CGC con astillas de granulometría lo más uniforme posible dada la gran cantidad de finos que contenían, se envió procedente de ADARO la maquinaria necesaria para montar en la planta una instalación de clasificación con la que se obtuvieran dos productos perfectamente diferenciados (mayor y menor de 15 mm) con los que posteriormente se alimentaría la cámara CGC.

2.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO

Diagrama de proceso según esquema adjunto.

Las astillas procedentes del campo en camiones, se almacenan en una nave cubierta.

En un lateral de dicha nave se montó la instalación de clasificación, siendo alimentada por la tolva de recepción por medio de una pala cargadora.

La salida de astillas de la tolva de alimentación, regulada por una boquilla provista de tajadera manual es recogida por una cinta transportadora de 400 mm de ancho de banda, que alimenta a un trómel clasificador provisto de tela perforada de \varnothing 15 mm, obteniéndose dos productos (mayor y menor de 15 mm) que se procesaron independientemente tanto en la instalación de secado como en la cámara de gasificación-carbonización.

La instalación de secado consiste fundamentalmente en un horno reactivo de tambor horizontal cuyo hogar se alimentó con producto fino menor de 15 mm.

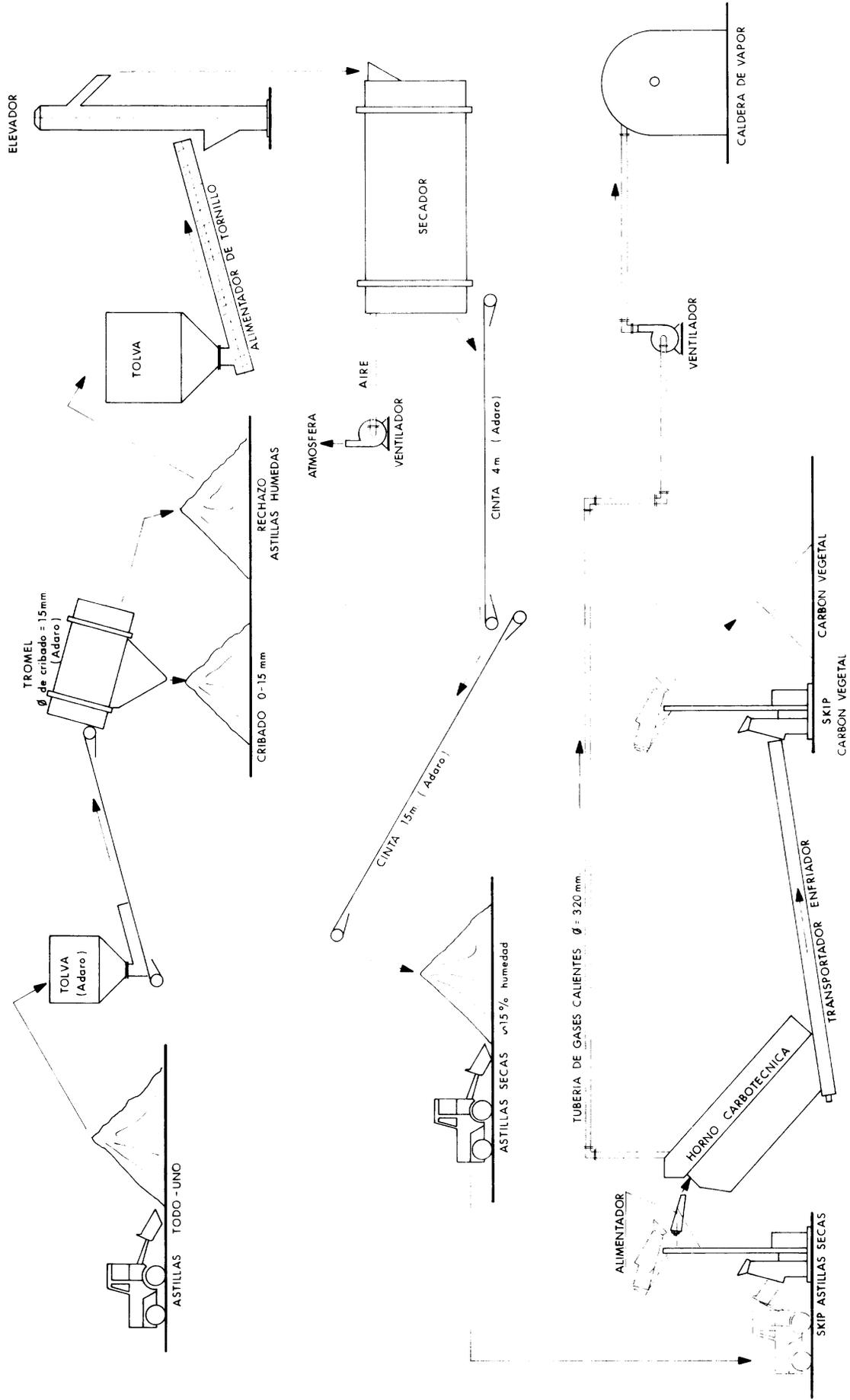
La alimentación de astillas secas a la cámara CGC se realizó por medio de la pala cargadora que cargaba el skip, que a su vez vertía en la tolva de alimentación de la cámara.

2.3.- MARCHA DE LA INSTALACION

En todo momento de marcha de la instalación y principalmente en los períodos de tomas de datos se ha procurado mantener la cámara de gasificación-carbonización a plena marcha continua y régimen de temperatura, regulando convenientemente la salida del carbón vegetal, a fin de obtener la máxima producción y buena calidad del carbón.

ESQUEMA DE INSTALACION EN LA EMPRESA "INOLCA" (CACERES) PARA LAS PRUEBAS DE OBTENCION DE CARBON VEGETAL

A PARTIR DE LA LIMPIEZA DEL BOSQUE



3.- OBTENCION DE DATOS

La obtención de datos se ha realizado en base al pesado de los productos de entrada y salida en períodos de tiempo de terminados, realizándose al mismo tiempo tomas de muestras y análisis del carbón vegetal obtenido.

También se han medido los caudales de gases producidos, analizando su composición y determinando su poder calorífico.

Los datos obtenidos se dan a continuación.

3.1.- PRUEBAS DE CARBONIZACION

Se han realizado las siguientes pruebas:

Fecha	Duración prueba	Entrada de astillas (kg)	Salida de carbón (kg)	Caudal horario alimentación (kg/h)	Caudal horario salida (kg/h)	Relación astillas/carbón
21.09.84	89'	920	170	620	114,6	5,41
25.09.84	262'	2.110	440	483	100,7	4,8
26.09.84	156'	1.710	660	657	253,8	2,6 (1)
27.09.84	217'	1.750	370	483	102,3	4,7
02.10.84	97'	1.250	190	773	117,5	6,5 (1)
02.10.84	160'	1.750	240	656	90,0	7,3 (1)
03.10.84	458'	3.770	700	494	91,7	5,4
03.10.84	638'	4.930	962	463,6	90,0	5,1
04.10.84	1.251'	7.840	1.710	376	82,0	4,58
10.10.84	553'	3.720	1.075	403,6	116,6	3,46
10.10.84	24 h	9.920	2.400	413,3	100,0	4,13
17.10.84	264'	1.860	366	422,7	83,2	5,08
18.10.84	283'	2.272	370	481	78,4	6,14
18.10.84	12 h	4.828	1.014	402,3	84,5	4,76
24.10.84	514'	3.322	455	387,8	53,1	7,3 (2)
24.10.84	12 h	5.134	700	427,8	58,3	7,3 (2)
25.10.84	452'	3.140	744	416,8	98,7	4,22
25.10.84	12 h	4.710	1.056	392,5	88,0	4,46

(1) Datos poco fiables

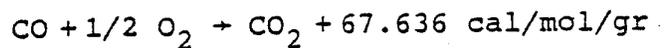
(2) Atranques en la salida de carbón

3.2.- MEDICION DE GASES

Se dan a continuación las mediciones realizadas a lo largo de 6 fechas diferentes, haciendo observar que no se ha podido medir el CH₄ y Cn Hm contenido en los gases por falta de medios. No obstante, creemos que el contenido máximo de éstos puede estar comprendido entre 1-2%, lo que hace que la energía calorífica del gas sea ligeramente superior a la calculada.

El cálculo de la velocidad del gas se ha hecho en base a la norma E.P.A. (Agencia de Protección del Medio Ambiente de U.S.A.).

El cálculo de la energía calorífica del gas se hace en base al rendimiento teórico de la combustión del óxido de carbono, cuya reacción es:



PRUEBA N° 1: Toma de muestra a las 18 horas del 2.10.84,
con astillas > 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	52,8%	43,3%
- CO ₂	10,6%	8,8%
- O ₂	20,0%	16,5%
- CO	16,6%	13,6%
- Humedad	17,8%	
- Peso molecular seco	30,5	
- Peso molecular húmedo ..	28,3	
- Presión dinámica	0,5" c.a. = 12,7 mm c.a.	
- Velocidad	17,7 m/seg.	
- Sección tubería medición	0,07547 m ²	
- Caudal	1,335 m ³ /seg. = 0,575 Nm ³ /seg.	
- Temperatura	360°C	

Energía calorífica del gas: 851.160 Kcal/h

PRUEBA N° 2: Toma de muestra a las 13 horas del 3.10.84,
con astillas > 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	57,9%	51,0%
- CO ₂	6,0%	5,3%
- O ₂	18,5%	16,3%
- CO	17,6%	15,5%
- Humedad	11,9%	
- Peso molecular seco	29,7	
- Peso molecular húmedo ..	28,3	
- Presión dinámica	0,5" c.a. = 12,7 mm c.a.	
- Velocidad	18,2 m/seg.	
- Sección tubería medición	0,07547 m ²	
- Caudal	1,373 m ³ /seg. = 0,592 Nm ³ /seg.	
- Temperatura	360°C	

Energía calorífica del gas: 997.685 Kcal/h

PRUEBA N° 3: Toma de muestra a las 18,53 horas del 9.10.84,
con astillas < 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	64,6%	54,3%
- CO ₂	5,4%	4,5%
- O ₂	19,8%	16,6%
- CO	10,2%	8,6%
- Humedad	16%	
- Peso molecular seco	29,7	
- Peso molecular húmedo ..	27,8	
- Presión dinámica	0,44" c.a. = 11,2 mm c.a.	
- Velocidad	16,1 m/seg.	
- Sección tubería medición	0,07547 m ²	
- Caudal	1,215 m ³ /seg. = 0,624 Nm ³ /seg.	
- Temperatura	258°C	

Energía calorífica del gas: 583.949 Kcal/h

PRUEBA N° 4: Toma de muestra a las 11 horas del 10.10.84,
con astillas < 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	65,2%	51,2%
- CO ₂	6,2%	4,9%
- O ₂	16,6%	13,1%
- CO	12,0%	9,4%
- Humedad		21,4%
- Peso molecular seco		29,6
- Peso molecular húmedo ..		27,2
- Presión dinámica		0,475" c.a. = 12 mm c.a.
- Velocidad		17,4 m/seg.
- Sección tubería medición		0,07547 m ²
- Caudal		1,313 m ³ /seg. = 0,639 Nm ³ /seg.
- Temperatura		287,5°C

Energía calorífica del gas: 653.449 Kcal/h

PRUEBA N° 5: Toma de muestra a las 16,20 h del 30.10.84,
con astillas > 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	69,1%	59,2%
- CO ₂	4,5%	3,9%
- O ₂	16,5%	14,2%
- CO	9,9%	8,5%
- Humedad		14,2%
- Peso molecular seco		29,39
- Peso molecular húmedo ..		25,19
- Presión dinámica		0,45" c.a. = 11,4 mm c.a.
- Velocidad		16,2 m/seg.
- Sección tubería medición		0,07547 m ²
- Caudal		1,222 m ³ /seg. = 0,644 Nm ³ /seg.
- Temperatura		245°C

Energía calorífica del gas: 595.052 Kcal/h

PRUEBA N° 6: Toma de muestra a las 10,20 h del 31.10.84,
con astillas > 15 mm

COMPOSICION DEL GAS

	<u>Base seca</u>	<u>Base húmeda</u>
- N ₂	72,8%	64,6%
- CO ₂	5,0%	4,4%
- O ₂	13,8%	12,2%
- CO	8,4%	7,5%
- Humedad	11,3%	
- Peso molecular seco	29,34	
- Peso molecular húmedo ..	26,03	
- Presión dinámica	0,55" c.a. = 14 mm c.a.	
- Velocidad	13,4 m/seg.	
- Sección tubería medición	0,07547 m ²	
- Caudal	1,011 m ³ /seg. = 0,497 Nm ³ /seg.	
- Temperatura	282°C	

Energía calorífica del gas: 478.582 Kcal/h

3.3.- ANALISIS DE CARBON VEGETAL

No existen unas especificaciones concretas para definir la calidad de un carbón vegetal, sino que cada aplicación tiene sus propias y estrictas especificaciones que se deben examinar para determinar tanto las exigencias del proceso actual de producción, como las prescripciones futuras, en virtud de posibles alteraciones en la tecnología del mismo.

No obstante la calidad se define por regla general por su dureza, tamaño, fragilidad, densidad y composición química incluyendo sus contenidos en carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas.

Como especificaciones generales se pueden definir:

- Carbono fijo 70% mínimo
- Volátiles 20% máximo
- Cenizas 12% máximo
- Humedad 8% máximo

El carbón vegetal que se ha obtenido en las pruebas realizadas cumple ampliamente estas especificaciones, teniéndose como media de los análisis realizados:

- Carbono fijo 80,42%
- Volátiles 12,6 %
- Cenizas 6,79%
- Humedad 3,10%
- P.C.S. 7.243

No puede decirse lo mismo en cuanto a dureza y tamaño, ya que al proceder de residuos forestales de pino, madera cali

ficada como blanda, el carbón obtenido es muy blando, desmenuzándose fácilmente, por lo que su tamaño suele ser inferior a 25 mm.

Se dan a continuación, los análisis de laboratorio de las muestras obtenidas.

Tipo de muestra	H ₂ O	Cenizas	Volátiles	C.Fijo	S	P.C.S.
C. grueso	2,86	6,06	13,73	80,21	0,028	7.379
"	2,31	5,89	15,16	78,95	0,027	7.392
"	4,68	3,10	10,70	86,20	0,017	7.575
"	2,20	4,06	9,87	86,07	0,019	7.692
"	4,07	2,41	13,22	84,37	0,049	7.775
"	4,10	4,82	8,21	86,97	0,012	7.470
C. fino	1,60	7,14	14,94	77,92	0,030	7.089
"	2,64	6,54	21,87	71,59	0,026	6.973
"	2,09	7,75	17,43	74,82	0,025	7.234
"	1,95	7,26	9,97	82,77	0,018	7.482
C. grueso	4,3	2,48	14,89	82,63	0,01	7.482
"	2,45	4,25	9,64	86,11	0,008	7.466
"	1,65	2,99	16,44	80,57	0,016	7.420
"	8,64	8,85	12,74	78,41	0,029	6.565
C.fino	1,60	42,14	9,37	48,49	0,015	4.311
"	3,34	25,55	9,10	65,35	0,01	5.744
"	0,93	9,50	6,69	83,81	0,01	7.161

(1)

(1) Resultados anormales por mala toma de muestra

4.- RESUMEN DE DATOS

Los datos que se reflejan a continuación son las medias de las diferentes mediciones realizadas durante la campaña.

4.1.- ASTILLAS TODO-UNO DE ENTRADA

- Granulometría 0-80 mm
- Humedad 20%
- P.C.I. 3.600 Kcal

4.2.- CLASIFICACION

	<u>Humedad</u>	<u>%</u>
- Todo-uno	19-21 %	100
- > de 15 mm	21-22 %	62
- < de 15 mm	20-21 %	38
- Capacidad	Superior a la necesaria	

4.3.- SECADO

- Humedad de entrada ... 20-22%
- Humedad de salida 10-11%
- Capacidad 700 a 800 kg/hora

4.4.- CARBONIZACION

- Capacidad de tratamiento	486 kg/h
- Producción carbón vegetal	100 kg/h
- Relación madera/carbón	4,86
- P.C.S. carbón vegetal	7.000 Kcal/kg
- Densidad aparente carbón vegetal	114 kg/m ³

4.5.- GAS

- Caudal de gas producido	0,595 Nm ³ /seg
- Caudal de gas por kg de astillas	4,407 Nm ³ /kg
- Energía calorífica gas producido	685.156 Kcal/h (1)
- Potencia calorífica del gas	319,8 Kcal/Nm ³

4.6.- RENDIMIENTO DEL PROCESO

Con los resultados obtenidos se tiene un rendimiento calorífico del 79,16%, considerando el P.C.I. de la astilla de entrada a la instalación con un 20% de humedad.

(1) Si se tiene en cuenta que el gas producido puede contener aproximadamente un 1% de CH₄, la energía calorífica del gas producido sería de 888.646 Kcal/hora, con lo cual se obtendría un rendimiento calorífico en el proceso de un 90,8%.

5.- COMENTARIOS A LOS DATOS OBTENIDOS

Los resultados que se han obtenido en las pruebas realizadas en INOLCA, son prácticamente la mitad de los datos básicos dados por CARBOTECNICA para su cámara de gasificación-carbonización, pues se ha obtenido una capacidad de tratamiento de 486 kg/h frente a 1.000 kg/h y en gases de 888.646 Kcal/h frente a 2×10^6 Kcal/h.

Como consecuencia de ello se giró visita a las instalaciones de CARBOTECNICA en Portugal, para comentar con sus técnicos las dificultades que habíamos encontrado en la operación, así como, las diferencias en los datos obtenidos.

Los técnicos de CARBOTECNICA aceptaron estudiar los resultados y facilitarnos sus conclusiones al respecto.

No obstante, a lo largo de las conversaciones mantenidas, confirmaron que creían factible alcanzar las producciones básicas anteriormente garantizadas con su proceso.

Se adjunta seguidamente, el informe facilitado por CARBOTECNICA, recibido el 15-1-1985, con los comentarios a las pruebas de carbonización-gasificación, realizadas en INOLCA, así como la traducción del mismo.

COMENTÁRIOS ÀS PROVAS DE CARBONIZAÇÃO DE CÁCERES

	Pág.
0. INTRODUÇÃO	1
1. CARVÃO	1
2. RITMO DE CARBONIZAÇÃO	2
3. CARACTERIZAÇÃO DO GÁS	4
4. OBSERVAÇÕES DIVERSAS	6
5. CONCLUSÃO	8

0. INTRODUÇÃO

Na reunião de 21.11.84 nos nossos escritórios e nas visitas de 22.11.84 às instalações de Alcácer do Sal com os Srs. Francisco Peres Romero e Manuel Moreno Horrilo tivemos oportunidade de trocar impressões sobre o modo, infelizmente insatisfatório, como decorreram os ensaios de processamento de estilha na CGC montada na INOLCA em Cáceres, bem como de outros assuntos ligados ao tema.

Vamos, de seguida, dar a nossa interpretação, à luz das informações disponíveis, das causas das dificuldades sentidas bem como tecer alguns comentários sobre os pontos mais importantes.

1. CARVÃO: Qualidade, valorização e destino

Quanto à qualidade do carvão aparecem 2 tipos de resultados nas análises a que tivemos acesso:

- A) As de Julho 84 (numeradas de 1 a 10) com resultados de um modo geral de acordo com o esperado, apenas com o teor de voláteis um pouco alto (temperatura de operação baixa e/ou sobreenchimento da CGC).
- B) As de Setembro-Novembro 84 onde, a par com resultados normais (embora quase sempre tendendo a voláteis altos), aparecem alguns com extremas variações do teor de cinzas (até 42% !!). A nosso ver, esta dispersão só pode estar associada a contaminações com areia ou terra da estilha e/ou a deficiente amostragem do carvão, já que com a CGC a operar em contínuo, mesmo a baixo ritmo, o teor de cinzas do carvão resulta directamente da relação da carbonização multiplicada pelo teor de cinzas do resíduo.

No que respeita a preços dos carvões produzidos nas primeiras instalações a construir em Espanha, enquanto mercados nobres como a indústria química ou metalúrgica não estiverem ainda "trabalhados", insistimos em que a sua mínima valorização é como combustível industrial. Nesta aplicação terão

./.

certamente valores da ordem dos de coque de petróleo já que, embora com menor poder calorífico e maior teor de cinzas, são carvões secos, sem enxofre, muito reactivos, e praticamente não consomem energia na sua moagem (que aliás convirá ser logo feita após a sua produção). Potenciais destinos são pois alguns dos actuais utilizadores de coque de petróleo (que sabemos estar já bastante divulgado em Espanha).

Uma outra utilização de curto prazo é como finos de carvão para briquetes de "barbacoa" (mercados de exportação). Terá de haver contactos com os industriais dos briquetes expondo as vantagens comerciais da utilização destes finos, já que tradicionalmente se usam em Espanha apenas os finos provenientes da produção por processos artesanais de carvão vegetal que resultam de baixíssima qualidade.

Uma outra hipótese, caso os industriais não se sensibilizem de imediato para a aglomeração destas qualidades, é a exportação directa dos finos para fábricas europeias de briquetes de alta qualidade, sem qualquer transformação em Espanha senão a moagem feita quando da sua produção. Esta solução, embora interessante, será em termos nacionais menos satisfatória que a anterior visto não resultar um tão grande valor acrescentado em Espanha.

2. RITMO DE CARBONIZAÇÃO

Nas informações de que dispomos verifica-se terem-se atingido ritmos de processamento máximos de 400-500 kg/h de resíduos, portanto bem abaixo dos valores nominais para uma CGC com as características das de Cáceres.

Genêricamente é de esperar redução sensível da capacidade de processamento das CGC quando alguns dos seguintes factores ocorram:

- A) GRANULOMETRIA : grandes granulometrias, particularmente se associadas a teores elevados de humidade, ocasionam necessidades de grandes tempos de permanência e, portanto, para um mesmo volume de reactor implicam menor ritmo. Não foi este certamente o problema de Cáceres já que se processou material estilhado.

./.

- B) HUMIDADE : teores de humidade para cima de 15% reduzem substancialmente a capacidade de processamento. Não é contudo razoável admitir que uma redução de capacidade tão grande como a verificada se possa dever apenas a ter-se trabalhado com estilhas com cerca de 20% de humidade.

Permitimo-nos no entanto levantar dúvidas quanto à humidade real dos pedaços maiores de estilha, que são os que condicionam o ritmo de carbonização, não terem sido superiores já que, exactamente pelo seu tamanho, exigem tempos de secagem relativamente longos, inatingíveis num secador do tipo rotativo com o usado na INOLCA para a sua secagem (que têm pouco tempo de permanência e temperaturas relativamente baixas - notar que os silos secadores por nós propostos prevêem residências em zona de secagem superiores a 1 hora).

- C) TEMPERATURA : temperaturas de 800-900°C, facilmente conseguidas pelo controle sobre a janela do ar primário, são recomendadas para atingir as capacidades nominais. Uma subida destas temperaturas, por admissão de mais ar primário, embora conduzindo a uma maior capacidade de carbonização traduz-se num excessivo empobrecimento do gás combustível (por aumento das percentagens de azoto e produtos de combustão). Um abaixamento destas temperaturas reduz substancialmente a capacidade de processamento, já que o processo de transmissão de calor para os resíduos é basicamente por radiação (proporcional à quarta potência da temperatura). Além disso, a desgaseificação dos resíduos termina mais cedo produzindo-se carvões com mais elevado teor de voláteis. Esta redução de temperatura pode ser consequência de um enorme excesso de ar (que é no entanto facilmente detectável já que a atmosfera interior do forno fica totalmente transparente, revelando combustão total do gás, seguindo-se o escurecimento, por arrefecimento, das paredes do forno) ou, pelo contrário, de falta de ar primário não permitindo a combustão da parcela de gás necessária à manutenção dos 800-900°C necessários para se obterem bons ritmos de processamento (esta situação também é facilmente detectável por mudança de tonalidade dos fumos, mais acastanhados, ou por medição da temperatura dos gases à saída da CGC).

./.

Os teores relativamente elevados de voláteis no carvão bem como de algumas relações da carbonização indicam ter-se trabalhado com temperaturas abaixo das necessárias (falta de ar primário).

- D) ESPESSURA DA CAMADA DE MATERIAL NA SOLEIRA : Tanto o material lenhoso como o carvão são isolantes térmicos. Esse facto, associado ao da transmissão de calor por radiação sobre a superfície superior da camada de material na soleira, recomenda que se trabalhe com espessuras de camada baixas impedindo um sobreenchimento da CGC até ao alimentador. Este sobreenchimento origina uma total cobertura da soleira, com o seu consequente arrefecimento, passando a haver uma zona inferior da camada de material que atravessa todo o forno sem atingir as temperaturas típicas da pirólise, saindo por vezes completamente cru, misturado com outros pedaços completamente carbonizados (os que viajaram na zona superior da camada).

Tudo indica ter sido esta uma das principais causas do baixo ritmo de carbonização. Este fenómeno, que se agrava particularmente com maiores humidades dos resíduos (que passam a necessitar de mais tempo e energia até à carbonização final), é ultrapassado operando com o início da soleira a descoberto e muito quente, de modo que o material "role" sobre ela estendendo-se de seguida sobre a camada que já se encontra no interior do forno ficando assim bem exposto à radiação.

3. CARACTERIZAÇÃO DO GÁS

Infelizmente, não se torna possível fazer a caracterização do gás CGC com base nos dados disponíveis sobre o ensaio de Cáceres (básicamente constituído pelas folhas manuscritas "pruebas de carbonization" de 21/9/84 a 25/10/84 e "análisis gases" de 2-3-9-10-20-31/10/84). Isso deve-se a que o tratamento desses dados conduz a resultados completamente incoerentes com a operação, mesmo com as deficiências vistas nos pontos anteriores, da CGC.

Assim, detectamos as seguintes incoerências principais:

- A) CAUDAIS : A pressões dinâmicas da ordem das medidas nos ensaios (± 12 mm C.A.) correspondem, para as densidades calculadas dos gases ($\pm 0,6$) e para a secção do tubo ($\emptyset 318$ mm), caudais mássicos da ordem dos 3.000 kg/h *de resíduos alimentados* ~~de resíduos alimentados~~ *incompatíveis com os cerca de 500 kg/h de resíduos alimentados.*
- B) TEMPERATURAS : Não serão nunca de esperar temperaturas da ordem das medidas ($\pm 300^{\circ}\text{C}$) nos gases imediatamente antes do queimador. A tubagem do gás é isolada e não tem área suficiente que possa permitir um arrefecimento do gás desde cerca de 800°C até aos cerca de 300°C .
- C) OXIGÉNIO LIVRE : Detectaram-se percentagens muito elevadas ($\approx 16\%$) de O_2 no gás gerado. Havendo temperaturas de $800-900^{\circ}\text{C}$, atmosfera fortemente redutora e tempos de residência do gás relativamente longos (vários segundos) no interior da CGC, não é possível a presença de oxigénio livre no gás proveniente da janela do ar primário e muito menos da bica de descarga do carvão (já que a travessia da camada de carvão ao rubro o consumiria). De notar que as análises dos gases apontam para quantidades de O_2 livre e N_2 aproximadamente nas mesmas proporções que no ar (o que se, por um lado, indica fortes infiltrações de ar, por outro indica falta de ar primário, caso contrário haveria mais azoto).

Os pontos A, B e C apontam para uma acentuada infiltração de ar "parasita" que não atravessou a CGC (consequente talvez de falta de regulação da borboleta do ventilador de tiragem do gás, associada a chaminé mal fechada, tampas na alimentação do resíduo abertas ou algum outro problema na tubagem do gás).

- D) BALANÇO MÁSSICO ATÓMICO : Uma forma de aferir os resultados de uma análise do tipo da efectuada é fazer um balanço atómico por comparação da relação C/H/O do gás (descontados o azoto e o oxigénio correspondentes ao ar) com a relação C/H/O característica dos resíduos do tipo dos processados (descontado o carbono do carvão e acrescentada a humidade). Verificamos que nas análises do gás ocorrem percentagens (em peso) de

./.

C/H/O da ordem de 23/4/73 (tendo, como dissemos, descontado o Azoto e o Oxigénio do ar correspondente ao N_2 medido por análise). Por outro lado, temos que, para estilhas de madeira do tipo das processadas, a relação C/H/O (sem cinzas) é de 53/6/41. Adicionando 20% de água (Humidade) e descontando 20% de Carbono (saído no carvão), teremos para esses resíduos uma relação C/H/O de 28/9/63.

Comparando os valores de C/H/O provenientes da análise do gás, 23/4/73, com os resultados do resíduo, 28/9/63, detectamos haver na análise do gás falta apreciável de átomos de C e H.

A nosso ver, e sabendo que no gás CGC aparecem normalmente percentagens não desprezáveis de CH_4 e de H_2 , essa falta de átomos de C e H fica a dever-se a que, com a utilização do aparelho de Orsat, essas moléculas de CH_4 e H_2 são tomadas como sendo N_2 .

Outro ponto importante, que justificaria a falta de carbono, é o aparecimento de quantidades significativas de negro de fumo (Carbono) quando do arrefecimento do gás sem combustão. No apontamento manuscrito "analysis gases" de 9.10.84 é referido um teor de partículas sólidas que pensamos dever-se exactamente a esse negro de fumo.

Na visita às instalações de Canha, onde o gás é directamente expelido nas chaminés das CGC (sem queimador atmosférico), verifica-se a formação de fumos de acentuada cor negra exactamente resultante da ocorrência de Carbono Livre no gás.

4. OBSERVAÇÕES DIVERSAS

De entre vários pontos por nós esclarecidos na nossa reunião e visitas, achamos conveniente registar os seguintes:

- A) APAGAMENTO DO CARVÃO : O apagamento do carvão será conseguido através de percurso em camada fina num arrefecedor vibrador (como vimos em Canha, onde estava associado ao ensacamento directo em sacos plásticos).

Na instalação de Cáceres, para além da superfície de arrefecimento ser insuficiente (o que reconhecemos), há que ter em conta que foi projectada para outro tipo de carvão de mais fácil apagamento - "Crujillo". Poder-se-á também prever um misturador de carvão (como vimos em Alcácer) que apaga por fricção as pontas de fogo do carvão. Finalmente e quando isso não colida com a granulometria necessária à utilização prevista para o carvão, poder-se-á, em linha com o arrefecimento em vibrador, moer o carvão num pequeno moinho de martelos (com potências absorvidas insignificantes) como forma de, aumentando a densidade, reduzir os custos de stockagem e transporte.

- B) INSTRUMENTAÇÃO : Dada a simplicidade e a estabilidade de operação da CGC, torna-se dispensável a utilização de instrumentação sofisticada fazendo recurso de algumas regras práticas, como aliás se verificou em Alcácer do Sal e em Canha. Consideramos contudo conveniente para outras instalações, de maior responsabilidade e sofisticação, e em particular se não houver experiência anterior de condução de CGC, a montagem de um pirómetro na saída do gás para controlar a temperatura de operação (actuação na janela do ar primário), de um manómetro de alta sensibilidade para controlar a pressão na CGC (actuação na válvula na tiragem do gás) e de um detector de nível no interior da CGC para controlar a espessura da camada (actuação sobre o ritmo de extracção do carvão).

São estes os três parâmetros fundamentais na operação da CGC que interessa controlar. Outro tipo de equipamentos, como por exemplo variadores de velocidade dos accionamentos ou medidores de caudal, viriam aumentar o grau de sofisticação do processo e caem no domínio da engenharia geral, sendo apenas dependentes dos critérios dos projectistas/utinizadores de cada instalação.

5. CONCLUSÃO

Reconhecendo embora o trabalho notável desenvolvido nos ensaios de Cáceres, dada a falta de experiência prévia de condução da CGC bem como a exiguidade dos meios disponíveis, somos no entanto de opinião que de modo algum se podem considerar os resultados obtidos como correspondentes às "performances" habituais da CGC.

A utilização de um secador adequado (ou resíduos convenientemente secos), o impedimento de excessivo nível de resíduos na soleira e a elevação da temperatura pela admissão de ar primário, teria melhorado substancialmente os ritmos de processamento certamente para níveis dos 1.000 kg/h.

Do ponto de vista de análise do gás CGC, deveriam ter-se evitado as infiltrações de ar verificadas (que evidentemente baixam substancialmente o poder calorífero do gás) e terem sido analisados os teores de CH_4 e H_2 , bem como medido o teor de sólidos no gás (negro de fumo).

Se tivesse sido possível a nossa participação nos ensaios, e não apenas esta análise à posteriori, limitada pelos elementos disponíveis que são necessariamente incompletos, poderiam ter sido ultrapassadas algumas das deficiências verificadas. Os resultados obtidos acentuam no entanto a nossa convicção, baseada na experiência, que, corrigidas as deficiências de operação apontadas (com pessoal experimentado e/ou instrumentação adequada), seriam atingidas as "performances" normais da CGC.

Por outro lado, reafirmamos a certeza da existência de mercados interessantes para os carvões com as características dos produzidos.

JSB/Lc
10.01.85

TRADUCCION DEL INFORME DE CARBOTECNICA

1.- CARBON: CALIDADES, VALORIZACION Y DESTINO

En cuanto a calidades del carbón aparecen dos tipos de resultados según los análisis a que tuvimos acceso.

- A) Los de Julio del 84 (numerados de 1 a 10) con los resultados de un modo general de acuerdo con lo esperado, aunque con un contenido de volátiles un poco alto (temperatura de operación baja o sobreinchamiento de CGC).
- B) Los de Septiembre-Noviembre 84, con resultados normales (aunque siempre tendiendo a volátiles altos), aparecen algunos con extremas variaciones del contenido en cenizas (hasta 42%). A nuestro ver esta dispersión puede ser asociada a contaminaciones con arena o tierra en las astillas o toma de muestra deficiente del carbón, ya que con un CGC operando en continuo, a bajo ritmo, el contenido de cenizas del carbón resulta directamente de la relación de carbonización multiplicada por el contenido de cenizas de los residuos.

Por lo que respecta a los precios de los carbones producidos en las primeras instalaciones a contruir en España, mientras que mercados nobles como industrias químicas o metalúrgicas no estén todavía "trabajados", insistimos en que su mínima valorización sería como combustible industrial. En esta aplicación tendría ciertamente valores del orden de los del coque de petróleo, ya que aunque con menos poder calorífico y mayor tenor de cenizas, son carbones secos, sin azufre, muy reactivos y prácticamente no consumen energía en su molienda (que convendría ser hecha inmediatamente después de su producción). Destinos potenciales son algunos de los actuales utilizadores

del coque de petróleo (ya bastante divulgado en España).

Otra utilización a corto plazo es como finos de carbón para briquetas de barbacoas (mercado de exportación). Habrá de tomarse contacto con las industrias de briquetas, exponiendo las ventajas comerciales en la utilización de estos finos, ya que tradicionalmente solo se usan en España los finos provenientes de procesos artesanales de carbón vegetal, que resultan de bajísima calidad.

Otra hipótesis en caso de que los industriales no se sensibilicen de inmediato para la aglomeración de estas calidades, es la exportación directa de los finos a fábricas europeas de briquetas de alta calidad sin ninguna transformación en España, con la excepción de la molienda hecha después de su producción.

Esta solución ahora interesante, en términos nacionales, es menos satisfactoria que la anterior ya que el producto es de menor valor añadido.

2.- RITMO DE CARBONIZACION

En la información de que disponemos se verifica que han tenido ritmos de procesamiento máximos de 400/500 kg/h de residuos, bajos para los valores nominales de una CGC de las características de la de Cáceres.

Genéricamente es de esperar reducciones sensibles de capacidad de procesamiento en la CGC cuando se den alguno de los factores siguientes:

- A) GRANULOMETRIA: grandes granulometrías, particularmente asociadas a contenidos elevados de humedad, ocasionan necesidades de grandes tiempos de permanencia y por tanto para un mismo volumen de reactor implican menor ritmo. Este no es ciertamente el problema de Cáceres, ya que se procesó material astillado.
- B) HUMEDAD: tenores de humedad por encima del 15% reducen sustancialmente la capacidad de procesamiento. No es razonable admitir que una reducción de capacidades tan grande como la verificada se pueda deber a haber trabajado con astillas de cerca del 20% de humedad.

Nos permitimos por tanto levantar dudas en cuanto a la humedad real de los pedazos mayores de astillas, que son los que condicionan el ritmo de carbonización, ya que al ser superiores exactamente por su tamaño exigen tiempos de secado relativamente largos, imposible de conseguir en un secador rotativo como el usado en INOLCA para su secado (que tiene poco tiempo de permanencia y temperatura relativamente baja. Notar que los silos secadores propuestos por nosotros proveen tiempos de residencia en la zona de secado superiores a 1 hora).

- C) TEMPERATURA: Temperaturas de 800-900°C fácilmente conseguidas por los controles sobre la entrada de aire primario son recomendadas para conseguir las capacidades nominales. Una subida de estas temperaturas por mayor admisión de aire primario, conduce a una mayor capacidad de carbonización y se traduce en un empobrecimiento del gas combustible (por aumento del porcentaje de nitrógeno y producto de combustión). Una baja de estas temperaturas reduce sustancialmente las capacidades de procesamiento ya que el proceso de transmisión de calor para los residuos es básicamente por radiación

(proporcional a la cuarta potencia de la temperatura). Por lo dicho se produce una mala gasificación de los residuos que termina produciendo un carbón con un elevado contenido de volátiles. Esta reducción de temperatura puede ser consecuencia de un enorme exceso de aire (que no ha sido fácilmente detectable ya que la atmósfera interior del horno está totalmente transparente, revelando combustión total del gas, siguiendo un oscurecimiento por enfriamiento de las paredes del horno) o por el contrario de falta de aire primario, no permitiendo la combustión de la parte del gas necesaria para mantener los 800-900°C necesarios para obtener buenos ritmos de procesamiento (esta situación también es fácilmente detectable por cambio de tonalidad de los humos, más acastañados, o por medición de la temperatura de los gases a la salida de la CGC).

Los contenidos relativamente elevados de volátiles en el carbón así como algunas relaciones de carbonización, indican que se ha trabajado con temperaturas más bajas de las necesarias (falta de aire primario).

- D) ESPESOR DE CAMADA DE MATERIAL EN LA SOLERA: Tanto el material leñoso como el carbón son aislantes térmicos. Este hecho asociado con la transmisión de calor por radiación sobre la superficie superior de camada de material en la solera, recomienda que se trabaje con espesores de camada baja impidiendo un sobreinchamiento de CGC.

Este sobreinchamiento origina una total cobertura de la solera con su consecuente enfriamiento pasando a tener una zona inferior de camada de material que atraviesa todo el horno sin conseguir las temperaturas típicas de pirólisis, saliendo a veces completamente crudo, mezclado con otros peda

zos completamente carbonizados (los que van por la zona superior de la camada).

Todo indica ser que ésta es una de las principales causas del bajo ritmo de carbonización. Este fenómeno se agrava particularmente con mayores humedades en los residuos (que pasan a necesitar más tiempo y energía para su carbonización final), no se produciría operando con un inicio de solera al descubierto y muy caliente de modo que el material rueda sobre ella, extendiéndose enseguida sobre una camada que ya se encuentra en el interior del horno quedando de esta forma bien expuesta a la radiación.

3.- CARACTERIZACION DEL GAS

No es posible una caracterización del gas de CGC con los datos disponibles sobre el ensayo de Cáceres (básicamente con las pruebas de carbonización y los análisis de gases). Eso se debe a que el tratamiento dado conduce a resultados completamente incoherentes con la operación por las mismas deficiencias vistas en puntos anteriores.

Así, detectamos las siguientes incoherencias principales:

- A) CAUDALES. Las presiones dinámicas medidas en los ensayos (del orden ± 12 mm c.a.) corresponden para las densidades calculadas de los gases ($\pm 0,6$) y para una sección de tubo de 318 mm \varnothing da caudales máxicos de 3.000 kg/h, no comparable con los cerca de 500 kg/h de residuos alimentados.

- B) TEMPERATURAS. No será nunca de esperar temperaturas del orden de las medidas ($\pm 300^{\circ}\text{C}$) en los gases inmediatamente antes del quemador. Una tubería de gas aislada no tiene área suficiente para permitir un enfriamiento del gas de cerca de 800°C a otro de cerca de 300°C .
- C) OXIGENO LIBRE. Se detectan porcentajes muy elevados (16%) - de O_2 en el gas generado. Teniendo temperaturas de $800-900^{\circ}\text{C}$, atmósfera fuertemente reductora y tiempos de residencia del gas relativamente largos (varios segundos) en el interior de la CGC no es posible una presencia de oxígeno libre en el gas proveniente de la entrada de aire primario y mucho menos de la boca de descarga del carbón (ya que al atravesar la camada de carbón se consumiría). Es de notar que en el análisis de gases existen cantidades de O_2 libre y N_2 aproximadamente en las mismas proporciones que en el aire (por lo que por un lado indica fuertes infiltraciones de aire y por otro indica falta de aire primario, caso contrario habría más nitrógeno).

Los puntos A, B y C acusan una acentuada infiltración de aire parásito que no atraviesa la CGC (consecuentemente tal vez falta de regulación de la mariposa del ventilador de absorción de los gases, asociada a una chimenea mal cerrada, trampas abiertas en la alimentación de residuos o algún otro problema en la tubería del gas).

- D) BALANCE MASICO ATOMICO. Una forma de referir los resultados de unos análisis del tipo de los efectuados es hacer un balance atómico por comparación de la relación C/H/O del gas (descontado el nitrógeno y oxígeno correspondientes al aire) con una relación C/H/O característica de los residuos del tipo de los procesados (descontando el carbono del car

bón y acrecentada la humedad). Verificamos que en los análisis de gas se dan porcentajes (en peso) de C/H/O del orden de 23/4/73 (habiendo como decimos descontado el nitrógeno y el oxígeno del aire correspondiente a N_2 medido por análisis). Por otro lado tenemos que para astillas de madera del tipo de las procesadas la relación C/H/O (sin cenizas) es de 53/6/41. Adicionando el 20% de agua (humedad) y descontando el 20% de carbono (salido en el carbón) tenemos para esos residuos una relación C/H/O de 28/9/63.

Comparando los valores de C/H/O provenientes de análisis de gas 23/4/73 con los resultados de los residuos 28/9/63, detectamos tener en los análisis de gas una falta apreciable de átomos de C e H.

A nuestro ver y sabiendo que en el gas CGC aparecen normalmente porcentajes no despreciables de CH_4 y H_2 , esa falta de átomos de C y H fijo puede deberse a que como se ha utilizado el aparato de Orsat, esas moléculas de CH_4 y H_2 han sido tomadas como N_2 .

Otro punto importante que justificaría la falta de C es la aparición de cantidades significativas de negro de humo (carbono) cuando se enfría el gas sin haberse quemado. En los datos manuscritos del análisis de gases del 9.10.84, es referido un tenor de partículas sólidas que pensamos debe ser exactamente ese negro de humo.

En la visita a la instalación de Canha donde el gas es directamente expedido a la chimenea (sin quemador atmosférico) se verifica la formación de humos de acentuado color negro exactamente resultante de la presencia del carbono libre en el gas.

4.- OBSERVACIONES DIVERSAS

De entre los varios puntos esclarecidos en nuestra reunión y visita, creemos conveniente registrar los siguientes:

- A) APAGADO DEL CARBON. El apagado del carbón se conseguirá a través de un vibrador enfriador transportado en camada fina (como vimos en Canha donde estaba asociado a un ensacamiento directo en sacos de plástico).

La instalación de Cáceres además de que la superficie de enfriamiento es insuficiente (lo que reconocemos), se ha de tener en cuenta que fue proyectada para otro tipo de carbón de más fácil apagado (orujillo). Puede también preverse un mezclador de carbón (como vimos en Alcacer) que apaga por fricción las puntas de fuego del carbón. Finalmente, también se puede moler el carbón en un pequeño molino de martillos (con potencia absorbida insignificante), siempre que sea recomendable por su granulometría como forma de aumentar la densidad y reducir los costes de almacenaje y transporte.

- B) INSTRUMENTACION. Dada la simplicidad y estabilidad de operación de la CGC no se hace indispensable la utilización de instrumentación sofisticada, haciendo recurso de algunas reglas prácticas como en Alcácer do Sal y en Canha. No obstante, consideramos conveniente para otras instalaciones de mayores responsabilidades y sofisticación y en particular al no haber experiencia anterior de conducción de la CGC, el montaje de un pirómetro en la salida del gas para controlar la temperatura de operación (actuando sobre la entrada de aire primario) un manómetro de alta sensibilidad para controlar la presión de la CGC (actuando sobre una válvula de aspiración del gas) y de un detector de nivel en el interior

de la CGC para controlar el espesor de la camada (actuando sobre el ritmo de extracción del carbón).

Son estos tres parámetros fundamentales de la operación de la CGC los que interesa controlar. Otros tipos de equipamiento, como por ejemplo variadores de velocidades de los accionamientos o medidores de caudal, verían aumentar el grado de sofisticación del proceso cayendo en el dominio de la ingeniería general, siendo apenas dependientes los criterios de los proyectistas utilizadores de cada instalación.

5.- CONCLUSIONES

Reconociendo el notable trabajo realizado en los ensayos de Cáceres, dada la falta de experiencia previa de conducción de CGC así como la falta de medios disponibles, somos no obstante de la opinión de que en modo alguno se pueden considerar los resultados obtenidos como los correspondientes habituales de la CGC.

Utilizando un secador adecuado (o residuos convenientemente secos), impidiendo un excesivo nivel de residuos en la solera y elevando la temperatura por la admisión de aire primario, sería mejorado sustancialmente el ritmo de proceso ciertamente para los niveles de 1.000 kg/h.

Por lo pronto a la vista de los análisis de gases de la CGC deberían haberse evitado las filtraciones de aire verificadas (que evidentemente bajan sustancialmente el poder calorífico del gas) y también haber sido analizado los tenores de CH_4 y H_2 y también medido el tenor de sólidos en el gas (negro de humo).

Si hubiese sido posible nuestra participación en los en sayos, y no a posteriori, donde los elementos disponibles son incompletos, podrían haberse subsanado algunas de las deficiencias verificadas. No obstante los resultados obtenidos acertuan nuestra convicción, basado en nuestra experiencia de que corregidas las deficiencias de operación apuntadas (con personal experimentado o instrumentación adecuada) serían conseguidos los datos básicos normales de la CGC.

Por otro lado reafirmamos la existencia de mercados interesantes para los carbones de las características de los producidos.

7.- CONCLUSIONES

Después de analizados los comentarios hechos por CARBOTECNICA a los datos obtenidos en las pruebas efectuadas en INOLCA, en las que se acusan las deficiencias de la instala-ción, carencia absoluta de instrumentos de medida y control y falta de experiencia en la conducción de la cámara de gasifica-ción-carbonización, creemos que subsanadas las anomalías rese-ñadas se podrían conseguir (aunque con cierta reserva) los da-tos básicos dados por CARBOTECNICA.

No obstante en el caso de que se llegase a la construc-ción de una planta en España para la obtención de carbón vege-tal mediante el proceso de CARBOTECNICA, se establecería con-trato con dicha firma propietaria de la tecnología a fin de ob-tener las necesarias garantías para alcanzar las producciones de gas y carbón que aquí se consideran.

En vista de estas conclusiones, se plantea la convenien-cia de realización de un estudio técnico-económico de implanta-ción de una unidad de gasificación-carbonización para la pro-ducción de carbón vegetal y aprovechamiento de los gases para quemarlos en calderas, utilizando a este fin los residuos fo-restales astillados procedentes de la limpieza de bosques o a-clareo de los mismos.

8.- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE IMPLANTACION DE UNA UNIDAD DE CARBONIZACION-GASIFICACION

8.1.- INSTALACION PLANTA

Se estudia la instalación de una planta según plano de anteproyecto n° 01-100-09, capaz de tratar 7.000 t/año de residuos forestales astillados con granulometría máxima de 70 mm y humedad del orden del 40% funcionando durante 5.760 horas/año, o sea: 24 horas día x 5 días semana x 48 semanas/año.

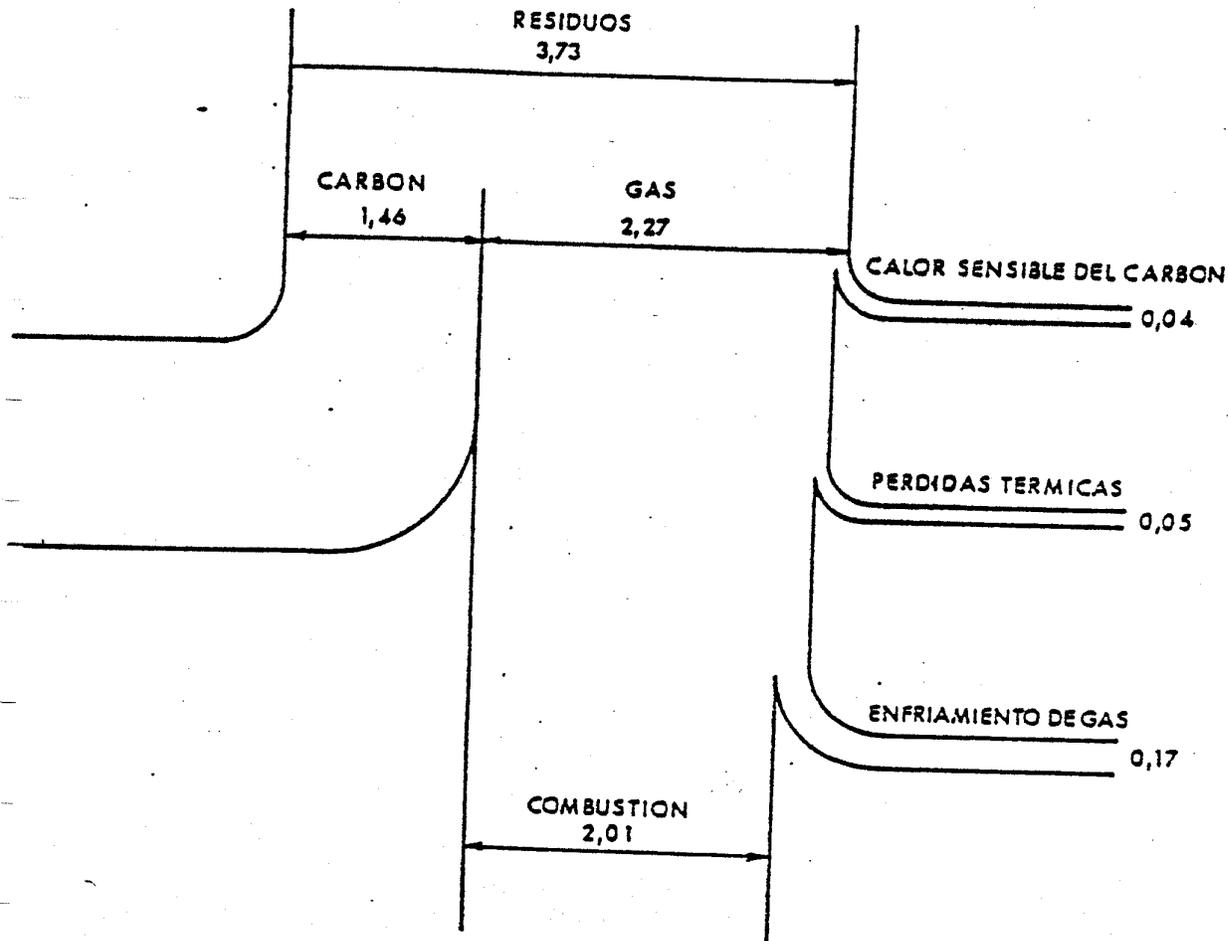
8.2.- DATOS TECNICOS BASICOS

Los datos técnicos de operación confirmados por CARBO-TECNICA para una unidad de gasificación-carbonización, son los siguientes:

- Capacidad de transformación: 1.000 kg/h de residuos forestales con 15% de humedad.
- Productos obtenidos:
 - . Gas combustible: 1.000 kg/h de gas de 2.000 Kcal/kg equivalente a 2×10^6 Kcal/h
 - . Carbón vegetal : 200 kg/h de carbón de 6.500 Kcal/kg equivalente a $1,3 \times 10^6$ Kcal/h.

El balance térmico expresado en Gcal/h de la unidad de gasificación-carbonización, es el siguiente:

BALANCE TERMICO (Gcal/h) DE UNA UNIDAD DE CARBONIZACION



Debe tenerse en cuenta que, dentro de ciertos límites, podrá variarse la relación gas/carbón, desplazando en función de las necesidades de cada momento la generación de uno u otro combustible. No obstante, en nuestros cálculos de rentabilidad, mantendremos las cifras de generación de gas y carbón ya indicadas.

8.3.- DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACION

Conforme al plano de anteproyecto n° 01-100-09 la ins
talación dispondrá de:

- Local de almacenamiento de residuos triturados.
- Sistema de alimentación de residuos
- Tolva secadora
- Alimentación de residuos a la unidad de gasificación
- Descarga y enfriamiento del carbón
- Alimentación de carbón a silo de almacenamiento
- Conducto de gas y quemador
- Ventilador de aire caliente para secado del residuo
- Sistema contra-incendios

En el siguiente capítulo se valoran las inversiones y se indican con detalle las características particulares de cada equipo.

8.4.- INVERSIONES DE LA INSTALACION
Plano de anteproyecto 01-100-09

Inversión x 10⁶Pts

Ref. 1. Almacén de residuos: Superficie cubierta 160 m ² , altura 9 m con puerta para acceso de ca miones y carril para puente-grúa .	4
Ref. 2. Puente grúa: Carga de elevación 2.000 kg, luz entre apoyos 10 m, longitud de des plazamiento 16 m con cuchara bival va de 1,5 m ³ a 2 m ³ para 600 kg de carga útil, altura de descarga 6 m. Potencia instalada 10 CV	6
Ref. 3. Tolva de descarga: Capacidad 15 m ³ , construida en cha pa con refuerzos, situada sobre - tolva secadora	0,3
Ref. 4. Tolva secadora: Capacidad 15 m ³ , construida en cha pa con refuerzos y tabuladuras pa ra entrada de aire caliente, con es tructura de apoyo	0,4
Ref. 5. Extractor-dosificador: Tipo extractor vibrante. Longitud 4 m. Potencia de motor 1 CV	0,3
Ref. 6. Cinta transportadora: Longitud 4,5 m, ancho de banda 400 mm, caudal 6 m ³ /h. Potencia de ac cionamiento 2 CV	0,2

Inversión x 10⁶Pts

Ref. 7. Elevador de canjilones: Altura entre ejes 10 m, con escale ra de acceso a cabeza de acciona miento, tipo de cadenas, carga por drenado, caudal 6 m ³ /h. Potencia de accionamiento 1,5 CV	1,5
Unidad de gasificación-carbonización, com puesta por:	
Ref. 8. Tolva de alimentación	
Ref. 9. Alimentador-dosificador	
Ref. 10. Chimenea	
Ref. 11. Cámara de gasificación con refrac tario	
Ref. 12. Estructura de soporte	
Ref. 13. Compuerta de descarga	
Ref. 14. Extractor-dosificador	
Ref. 15. Enfriadores de carbón Potencia instalada 5 CV	17,2
Ref. 16. Transportador de carbón horizontal: Tipo tornillo sin-fin, longitud en tre bocas de carga y descarga 2,5m, caudal 2 m ³ /h, diámetro 200 mm. Po tencia instalada 1 CV	0,25
Ref. 17. Transportador de carbón inclinado: Tipo tornillo sin-fin, longitud en tre bocas de carga y descarga 9,5 m, caudal 2 m ³ /h, diámetro 200 mm inclinación 20°. Potencia instala da 1,5 CV	0,55

Inversión x 10⁶Pts

Ref. 18. Elevador de canjilones: Altura entre ejes 15,5 m con esca lera de acceso a cabeza de accio namiento, tipo de cadenas, carga por drenado, caudal 2 m ³ /h. Poten cia instalada 2 CV	2,4
Ref. 19 y 20. Silo de carbón con apoyos: Construcción en chapa, capacidad 65 m ³ con válvula de descarga, es tructura de apoyo y detectores de nivel de máxima y mínima	1,6
Ref. 21. Enfriador de gas: Compuesto por dos tubos concéntri cos de 300 y 400 mm de diámetro , longitud 13,5 m con aislamiento - exterior	0,3
Ref. 22 y 26. Conducto de gas y soportes: Tubo de 300 mm diámetro, longitud 18 m con aislamiento y soportes al suelo	0,3
Ref. 23. Ventilador de gas: Caudal 5.000 Nm ³ /h, presión 120/ /150 mm c.a. Potencia instalada - 5 CV	0,5
Ref. 24. Mechero: Para utilización del gas en la cá mara de combustión existente	0,65

Inversión x 10⁶Pts

Ref. 25. Ventilador de aire y conductos: Caudal 5.000 Nm ³ /h, presión 120/ /150 mm c.a. con tubería de 300 mm entre intercambiador de calor y tolva secadora. Potencia instala da 5 CV	0,7
- Inversión total en equipo mecánico	37,15
- Instalación eléctrica, centro de control de motores y cuadro de maniobra (6% del equipo mecánico)	2,2
- Obra civil de zapatas de apoyo de equi pos, pavimentos y albañilería (estimado)	2,5
- Red de incendios	3,0
- Transporte y montaje del equipo mecánico (30% del valor de los equipos)	11,15
- Inversión del equipo montado	56,00
- Costes de puesta en marcha (tiempo esti mado 2 meses)	5,0
- Repuesto para 2 años de explotación (5% de la inversión de equipos mecánico y eléctrico)	2,0
- Ingeniería (14% de la inversión en equi po montado)	7,8
Suma total	70,80
- Impuestos e I.T.E. (5%)	3,54
INVERSION TOTAL	74,34

8.5.- RENTABILIDAD DE LA INSTALACION

8.5.1.- Inversiones y amortización

La inversión a realizar en esta planta se ha calculado en 74,34 MPts.

Suponiendo un período de amortización de 10 años con valor residual cero, resulta una amortización anual de 7,43 MPts.

8.5.2.- Capital circulante

Se considera necesario disponer de 10 MPts para hacer frente a los pagos de la compra de residuos, financiar los - stocks de carbón vegetal que se produzcan y atender los gastos de personal, costes de energía, etc.

8.5.3.- Coste de operación

Personal

Dado que la planta únicamente requiere una ligera vigilancia de marcha y esporádicamente una alimentación de los residuos por la grúa del almacén, se considera que un operario solamente requiere 1/3 de su tiempo en la realización de estos trabajos, dedicando su tiempo restante a otras actividades.

Tendremos por tanto que durante los tres turnos, únicamente consideraremos un operario por jornada de 40 horas semanales, según el régimen de marcha previsto, cuyo costo se calcula en 1,2 MPts/año.

Energía eléctrica

Según la potencia instalada prevista para cada uno de los equipos, necesitamos un total de 34 CV instalados, equivalentes a 25 KW, que con un coeficiente de utilización del 0,7, tendremos un consumo de 18 KWh por hora de trabajo, resultando sobre las 5.760 horas/año de trabajo un consumo anual de 103.680 KWh, que a un precio medio de 11 Pts/KWh, resulta un costo anual de 1,14 MPts.

Mantenimiento y repuestos

Se considera un costo total anual equivalente al 3% del valor de los equipos mecánicos y eléctricos.

Costo anual: $39,35 \times 0,03 = 1,18$ MPts.

Seguros

Se considera el costo de una póliza de seguros contra incendios para cubrir los riesgos de incendio de la planta y de los materiales combustibles almacenados, cuyo costo de prima anual se estima en 0,15 MPts.

Resumen de costos de operación

- Personal	1,2 MPts/año
- Energía eléctrica	1,14 "
- Mantenimiento y repuestos	1,18 "
- Seguros	0,15 "
Total costes operación	<u>3,67 MPts/año</u>

8.5.4.- Costos de materia prima

Según lo indicado en el punto 8.2. (Datos técnicos básicos) la capacidad de tratamiento de la planta es de 1.000 kg/h de residuo forestal, con 15% de humedad.

Dado que este residuo, se recibe en planta con una humedad media estimada del orden del 40%, las necesidades de materia prima adquirida por hora de funcionamiento son de $1.000 \times 1,40/1,15 = 1.217$ kg. Las horas de funcionamiento anual se han evaluado en 5.760 horas. Por tanto el consumo anual de residuos forestales triturados es de 7.000 toneladas.

Haciendo una previsión de coste de 3.000 pts/t, el costo anual de la materia prima alcanza los 21 MPts.

8.5.5.- Ingresos por ventas

Los ingresos por ventas proceden de la valoración del gas generado y consumido por la Sociedad Promotora y por la venta para usos industriales del carbón vegetal producido.

La energía del gas generado alcanza a 2×10^6 Kcal/h, que sobre las 5.760 horas de funcionamiento supone una producción anual de $11,52 \times 10^6$ termias.

Valorando el gas generado al precio a que resulta la termia en astillas, cuyo precio actual es de 6 pts/kg para una potencia calorífica de 3.750 Kcal/kg, se tiene $6/3,75 = 1,6$ pts/termia, por lo que el valor total del gas generado asciende a 18,43 MPts.

El carbón vegetal producido por hora de funcionamiento es de 200 kg/h, resultando una producción total anual de 1.150 t.

Consideramos para el cálculo, un precio de venta del carbón vegetal de 20.000 pts/t franco fábrica, lo que supone un ingreso por venta de 23 MPts/año.

Los ingresos totales anuales alcanzan por tanto un monto de 41,43 MPts.

8.5.6.- Resumen de los datos base para el cálculo de los flujos de caja y de la tasa interna de retorno (TIR)

- Inversión	74,34	MPts
- Amortización (en 10 años)	7,43	"
- Capital circulante	10,00	"
- Coste de operación	3,67	"
- De personal	1,2	MPts
- De energ. eléctrica	1,14	"
- De Mant. y repuest.	1,18	"
- Seguros	0,15	"
- Coste de materia prima	21,00	MPts
- Ingresos	41,43	"
- Por venta de gas ..	18,43	MPts
- Por venta de carbón ..	23,00	"

8.5.7.- Cálculos de flujos de caja y T.I.R.

En base a los datos aportados se realiza el cuadro de flujos de caja que se inserta a continuación en el cual se han considerado millones de pesetas constantes de 1985.

Los costes corresponden a la suma de costo de materia prima y costos anuales de operación.

La tasa interna de retorno para el flujo de caja calculado resulta ser de 11,21%.

8.5.8.- Cálculos de sensibilidad

Para conocer la variaciones resultantes en la tasa interna de retorno en función de otras hipótesis, se han realizado los cálculos que se indican:

a) Sensibilidad a los ingresos por ventas:

Se ha supuesto que los ingresos por ventas del carbón vegetal pueden variar entre 15 y 25 pts/kg. Se mantienen fijos los ingresos por ventas del gas a 1,6 pts/termia, así como los costes por materia prima, operación y amortización. Se obtiene la siguiente tabla de resultados.

b) Sensibilidad a los costes:

b.1.) Sensibilidad a los costes por compra de materia prima

Se ha supuesto que los costes por compra de astillas puedan variar entre 0 y 5 pts/kg. Se consideran fijos los ingresos por ventas, los costes operacionales, las amortizaciones, etc. Se obtiene la siguiente tabla de resultados.

b.2.) Sensibilidad a los costes y a las ventas

Se supone que los ingresos por venta de carbón vegetal pueden variar entre 15 y 25 pts/kg y que los costos por compra

de materia prima pueden variar entre 0 y 5 pts/kg. Se mantienen fijos los ingresos por venta de gas, los costes de operación y las amortizaciones. Se obtiene la siguiente tabla de resultados.

ANNO	VENTAS		M.P.	COSTES		AMORT	BB	IMPU	BN	INVER	CF
	CARBON	GAS		M.O.	M.O.						
0											
1	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	0.00	0.00	0.00	74.34	-74.34
2	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25	10.00	3.68
3	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
4	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
5	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
6	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
7	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
8	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
9	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25		13.68
10	23.00	18.43	21.00	3.67	7.43	9.33	3.08	3.08	6.25	-10.00	13.68
T.I.R.	11.21%										

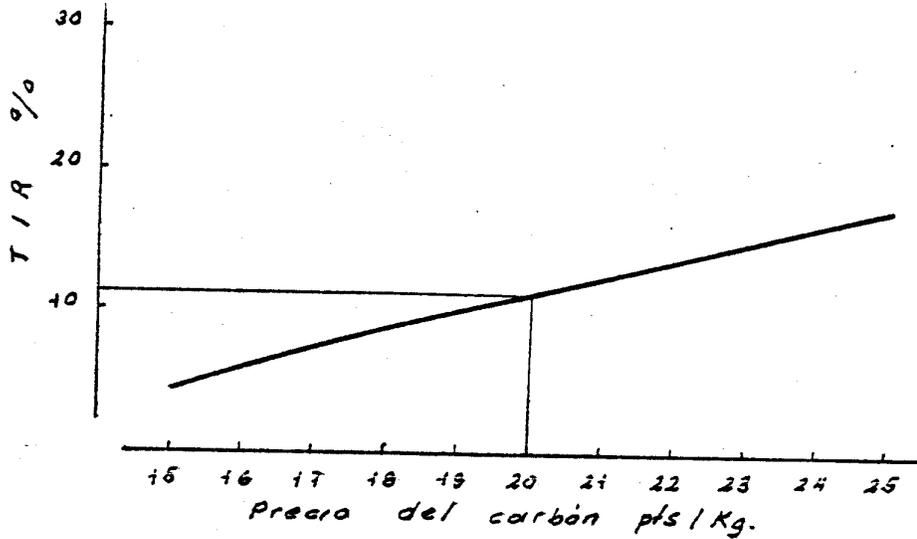
SENSIBILIDAD

VENTAS		M.P.	
11.21%	11.21%		
15.00	4.57%	0.00	32.01%
16.00	5.96%	0.50	29.75%
17.00	7.31%	1.00	25.43%
18.00	8.64%	1.50	22.04%
19.00	9.93%	2.00	18.56%
20.00	11.21%	2.50	14.96%
21.00	12.46%	3.00	11.21%
22.00	13.69%	3.50	7.25%
23.00	14.91%	4.00	3.02%
24.00	16.10%	4.50	-0.02
25.00	17.29%	5.00	-0.07

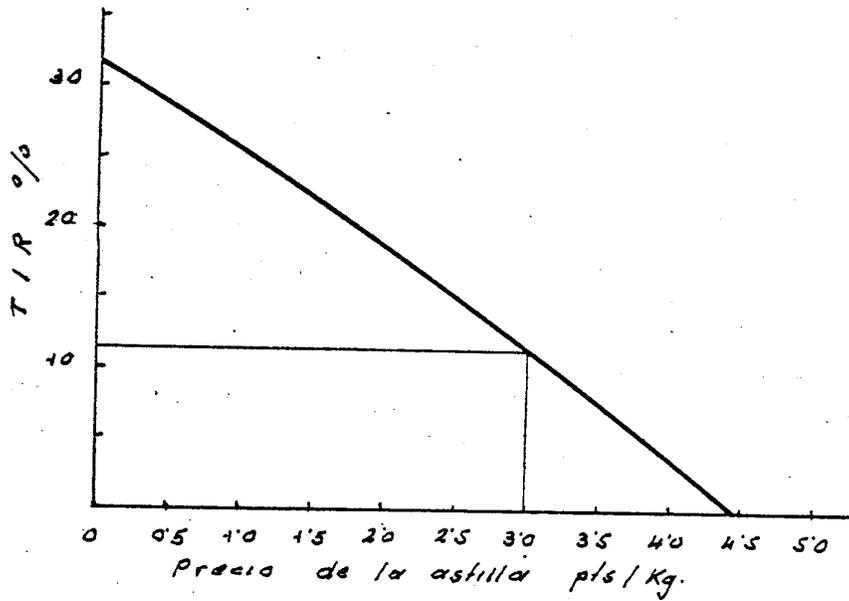
Coste de astillas pts/kg.

Ventas carbon pts/kg.	Coste de astillas pts/kg.										
	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
11.21%	0.00										
15.00	26.62%	23.26%	19.81%	16.26%	12.57%	8.69%	4.57%	0.10%	NEG.	NEG.	NEG.
16.00	27.71%	24.37%	20.96%	17.44%	13.80%	9.97%	5.96%	1.51%	NEG.	NEG.	NEG.
17.00	28.80%	25.48%	22.09%	18.61%	15.01%	11.26%	7.31%	3.08%	NEG.	NEG.	NEG.
18.00	29.87%	26.59%	23.21%	19.76%	16.21%	12.51%	8.64%	4.51%	0.03%	NEG.	NEG.
19.00	30.95%	27.67%	24.32%	20.91%	17.39%	13.75%	9.93%	5.90%	1.55%	NEG.	NEG.
20.00	32.01%	28.75%	25.43%	22.04%	18.56%	14.96%	11.21%	7.25%	3.02%	NEG.	NEG.
21.00	33.08%	29.83%	26.53%	23.16%	19.71%	16.16%	12.46%	8.58%	4.45%	NEG.	NEG.
22.00	34.13%	30.90%	27.62%	24.28%	20.86%	17.34%	13.69%	9.88%	5.84%	1.48%	NEG.
23.00	35.19%	31.97%	28.70%	25.38%	21.99%	18.51%	14.91%	11.15%	7.19%	2.96%	NEG.
24.00	36.24%	33.03%	29.78%	26.48%	23.11%	19.66%	16.10%	12.41%	8.52%	4.39%	NEG.
25.00	37.28%	34.09%	30.85%	27.57%	24.23%	20.81%	17.29%	13.64%	9.82%	5.78%	1.42%

CURVAS DE SENSIBILIDAD.



Sensibilidad al precio del carbón



Sensibilidad al precio de costo de la astilla.

9.- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE OTRAS INSTALACIONES DE CARBONIZACION-GASIFICACION

A continuación se realizan tres estudios técnico-económicos distintos para otras tantas instalaciones de carbonización-gasificación, comparables con el estudio reseñado en el punto 8, en los que se hace variar la capacidad de tratamiento de las distintas plantas.

9.1.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 14.000 t/AÑO DE ASTILLAS (2 CAMARAS)

Partiendo de la base del estudio anterior, se estudia la instalación de una planta capaz de tratar 14.000 t/año de astillas, trabajando en las mismas condiciones o sea, 5.760 horas/año (48 semanas/año, 5 días/semana y 24 horas/día).

9.1.1.- Datos técnicos básicos

Los datos básicos para la operación de esta planta serían:

- Capacidad de transformación: 2.000 kg/h de residuos forestales con un 15% de humedad.
- Productos obtenidos:
 - . Gas combustible: 2.000 kg/h de gas de 2.000 Kcal/kg equivalente a 4×10^6 Kcal/h

- . Carbón vegetal: 400 kg/h de carbón de 6.500 Kcal/kg equivalente a $2,6 \times 10^6$ Kcal/h

9.1.2.- Inversiones

Se considera para esta planta la instalación en paralelo de dos cámaras de gasificación-carbonización, cuyo valor es de $17,2 \text{ MPts} \times 2 = 34,4 \text{ MPts}$.

El resto de la inversión se calcula por la fórmula de Williams, o sea:

$$74,34 - 17,2 = 57,14 \text{ MPts. } I = 57,14 \left(\frac{14}{7}\right)^{0,67} = 90,9 \text{ MPts}$$

por tanto la inversión total será $90,9 + 34,4 = 125,3 \text{ MPts}$.

9.1.3.- Rentabilidad de la instalación

9.1.3.1.- Inversiones y amortización

La inversión a realizar en esta planta se ha calculado en $125,3 \text{ MPts}$. Suponiendo un período de amortización de 10 años, con valor residual cero, resulta una amortización anual de $12,53 \text{ MPts}$.

9.1.3.2.- Capital circulante

Se considera necesario disponer de $15,9 \text{ MPts}$ para hacer frente a los pagos de compra de residuos, financiar los stocks de carbón vegetal que se producen y atender los gastos de personal, costes de energía, etc.

9.1.3.3.- Costes de operación

- Personal

Se considera necesario un operario por turno para atender a las dos cámaras de gasificación, cuyo coste se calcula en 1,2 MPts, por tanto el coste anual es de 3,6 MPts.

- Energía eléctrica

La potencia a instalar en esta instalación sería de 28,63 KWh por hora de trabajo, resultando sobre las 5.760 horas/año un consumo anual de 164.909 KWh que a un precio medio de 11 Pts/KWh resulta un costo anual de 1,81 MPts.

- Mantenimiento y repuestos

Se considera un costo total anual equivalente al 3% del valor de los equipos mecánicos y eléctricos:

- Equipos:

$$37,15 - 17,2 = 19,95 \times \left(\frac{14}{7}\right)^{0,67} = 31,74 + 17,2 \times 2 = 66,14 \text{ MPts}$$

- Eléctrico:

$$2,2 \left(\frac{14}{7}\right)^{0,67} = \dots\dots\dots \underline{3,50 \text{ MPts}}$$

$$\text{Total} \dots\dots\dots 69,64 \text{ MPts}$$

$$\text{Costo anual: } 69,64 \times 0,3 = 2,09 \text{ MPts}$$

- Seguros

Se considera el coste de una póliza de seguro contra in

cendios para cubrir los riesgos de incendio de la planta y de los materiales combustibles almacenados, cuyo coste de prima anual se estima en 0,15 MPts.

- Resumen de costos de operación

. Personal	3,6	MPts
. Energía eléctrica	1,81	"
. Mantenimiento y repuestos ...	2,09	"
. Seguros	0,15	"
Total coste operación	7,65	MPts/año

9.1.3.4.- Costos de materia prima

Según lo indicado en el punto 9.1.1. (Datos técnicos básicos) la capacidad de tratamiento de la planta es de 2.000 kg/h de residuos forestales con 15% de humedad.

Como el residuo se recibe en planta con una humedad media estimada del 40% las necesidades de materia prima adquirida por hora de funcionamiento son $2.000 \times 1,14/1,15 = 2.434$ kg. Las horas de funcionamiento anual se han evaluado en 5.760 h. Por tanto el consumo anual de residuos forestales triturados es de 14.000 t.

Haciendo una previsión de coste de 3.000 pts/t el coste anual de la materia prima alcanza los 42 MPts.

9.1.3.5.- Ingresos por ventas

Los ingresos por venta proceden de la valoración del gas generado y consumido por la Sociedad Promotora y por las ventas para usos industriales del carbón vegetal producido.

La energía del gas generado alcanza a 4×10^6 Kcal/h, que sobre las 5.760 horas de funcionamiento supone una producción anual de $23,04 \times 10^6$ termias.

Valorando el gas generado al precio de 1,6 pts/termia a que resulta la termia en astillas, el valor total del gas generado asciende a 36,86 MPts.

El carbón vegetal producido por hora de funcionamiento es de 400 kg/h, resultando una producción total anual de 2.304 t.

Consideramos para el cálculo, un precio de venta del carbón vegetal de 20.000 pts/t franco fábrica, lo que supone un ingreso por venta de 46,08 MPts.

Los ingresos totales anuales alcanzan por tanto un monto de 82,94 MPts.

9.1.3.6.- Resumen de los datos bases para el cálculo de los flujos de caja y de la tasa interna de retorno (T.I.R.)

- Inversión	125,3	MPts
- Amortización (en 10 años)	12,53	"
- Capital circulante	15,90	"
- Costes de operación	7,65	"
. Personal	3,6	
. Energía	1,81	
. Mantenimiento y repuestos ...	2,09	
. Seguro	0,15	
- Coste de materia prima	42,00	MPts
- Ingresos	82,94	"
. Por venta de gas	36,86	
. Por venta de carbón	46,08	

9.1.3.7.- Cálculos de flujos de caja y T.I.R.

En base a los datos aportados se realiza el cuadro de flujos de caja que se inserta a continuación, en el cual se han considerado millones de pesetas constantes de 1985.

La tasa interna de retorno para el flujo de caja calculado resulta ser del 14,53%.

9.1.3.8.- Cálculos de sensibilidad

Siguiendo los mismos criterios que los señalados en el punto 8.5.8. se dan a continuación las tablas de variaciones de la T.I.R. de los cálculos de sensibilidad por:

- Ingresos por venta de carbón
- Costes por compra de materia prima
- Coste de materia prima y ventas de carbón

ANNO	VENTAS		M.P.	COSTES M.O.	AMORT	BB	IMPU	BN	INVER	CF
	CARBON	GAS								
0						0.00	0.00	0.00	125.30	-125.30
1	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91	15.90	10.54
2	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
3	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
4	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
5	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
6	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
7	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
8	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
9	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91		26.44
10	46.08	36.86	42.00	7.65	12.53	20.76	6.85	13.91	-15.90	42.34
T.I.R.	14.53%									

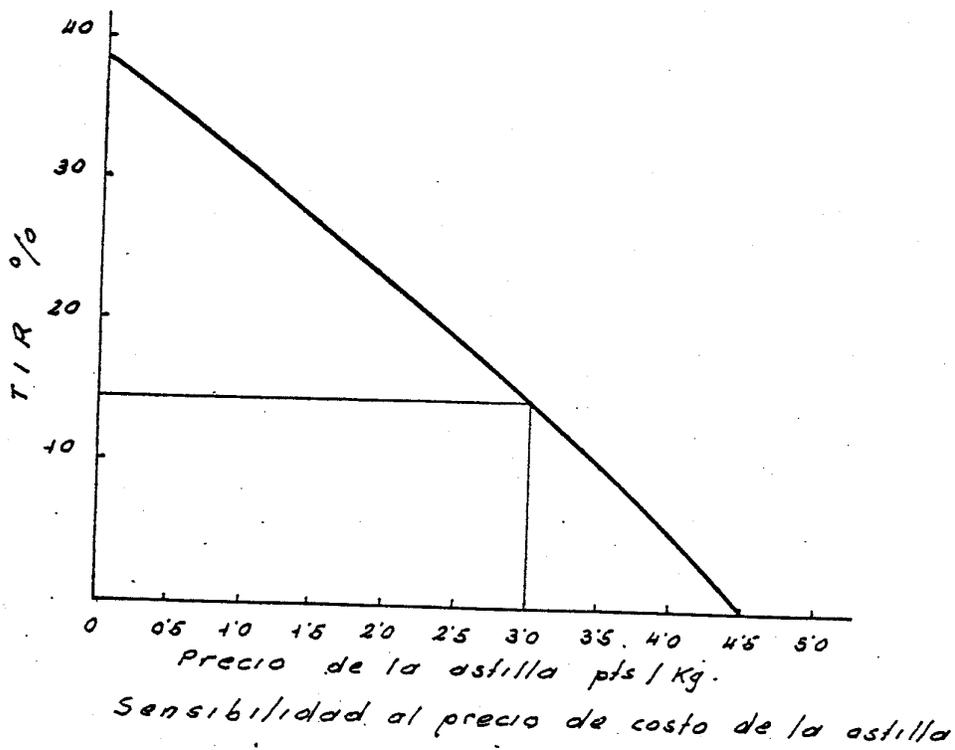
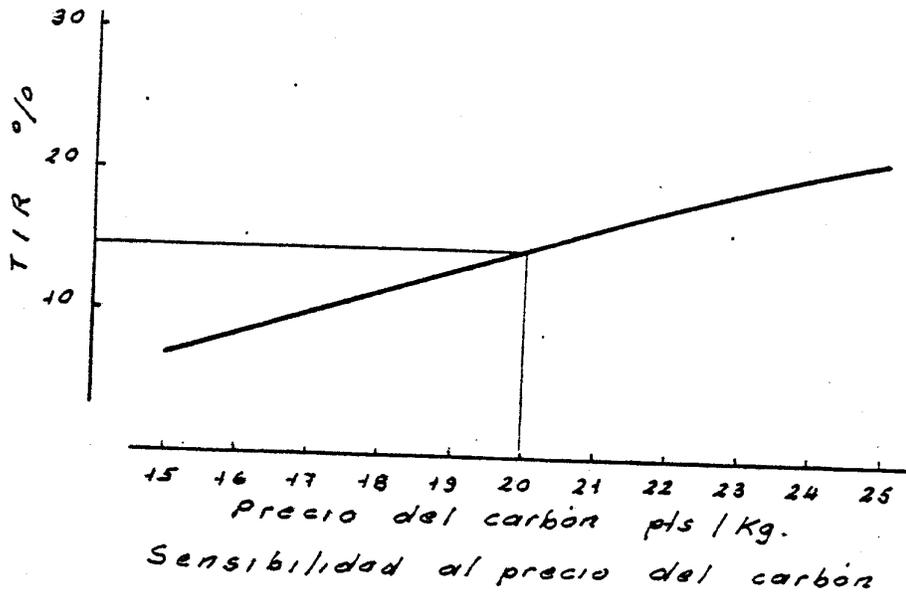
SENSIBILIDAD

VENTAS		M.P.	
	14.53%		14.53%
15.00	8.91%	0.00	38.54%
16.00	8.51%	0.50	34.75%
17.00	10.06%	1.00	30.90%
18.00	11.58%	1.50	26.98%
19.00	13.07%	2.00	22.97%
20.00	14.53%	2.50	18.83%
21.00	15.97%	3.00	14.53%
22.00	17.39%	3.50	10.00%
23.00	18.78%	4.00	5.15%
24.00	20.16%	4.50	.00
25.00	21.52%	5.00	NEG.

Costa de astillas pts/kg.

Ventas carbon pts/kg.	Costa de astillas pts/kg.										
	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
14.53%	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
15.00	32.27%	28.38%	24.40%	20.32%	16.08%	11.64%	6.91%	1.77%	NEG.	NEG.	NEG.
16.00	33.54%	29.67%	25.72%	21.68%	17.49%	13.15%	8.51%	3.52%	NEG.	NEG.	NEG.
17.00	34.80%	30.95%	27.03%	23.02%	18.89%	14.59%	10.06%	5.21%	NEG.	NEG.	NEG.
18.00	36.05%	32.22%	28.33%	24.35%	20.26%	16.02%	11.58%	6.85%	1.70%	NEG.	NEG.
19.00	37.30%	33.49%	29.62%	25.67%	21.62%	17.44%	13.07%	8.45%	3.45%	NEG.	NEG.
20.00	38.54%	34.75%	30.90%	26.98%	22.97%	18.83%	14.53%	10.00%	5.15%	NEG.	NEG.
21.00	39.78%	36.00%	32.17%	28.28%	24.30%	20.21%	15.97%	11.52%	6.79%	1.83%	NEG.
22.00	41.02%	37.25%	33.44%	29.57%	25.62%	21.57%	17.39%	13.01%	8.39%	3.39%	NEG.
23.00	42.25%	38.50%	34.70%	30.85%	26.93%	22.92%	18.79%	14.46%	9.94%	5.08%	NEG.
24.00	43.48%	39.74%	35.96%	32.13%	28.23%	24.25%	20.16%	15.92%	11.47%	6.73%	1.56%
25.00	44.70%	40.97%	37.21%	33.39%	29.52%	25.57%	21.52%	17.33%	12.96%	8.33%	3.32%

CURVAS DE SENSIBILIDAD.



9.2.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 21.000 t/AÑO DE
ASTILLAS (3 CAMARAS)

Partiendo de la base del estudio anterior (punto 8) se estudia la instalación de una planta capaz de tratar 21.000 t/año de astillas trabajando en las mismas condiciones, o sea, 5.760 horas/año (48 semanas/año, 5 días/semana y 24 horas/día).

9.2.1.- Datos técnicos básicos

Los datos técnicos para la operación de esta planta serían:

- Capacidad de transformación: 3.000 kg/h de residuos forestales con un 15% de humedad.
- Productos obtenidos:
 - . Gas combustible: 3.000 kg/h de gas de 2.000 Kcal/kg equivalente a 6×10^6 Kcal/h.
 - . Carbón vegetal: 600 kg/h de carbón de 6.500 Kcal/kg equivalente a $3,9 \times 10^6$ Kcal/h.

9.2.2.- Inversiones

Se considera para esta planta la instalación en paralelo de tres cámaras de gasificación-carbonización, cuyo valor es de 17,2 MPts x 3 = 51,6 MPts.

El resto de la inversión se calcula por la fórmula de Williams, o sea:

$74,34 - 17,2 = 57,14$ MPts, $I = 57,14 \left(\frac{21}{7}\right)^{0,67} = 119,3$ Mpts, por tanto la inversión total será $119,3 + 51,6 = 170,9$ Mpts.

9.2.3.- Rentabilidad de la instalación

9.2.3.1.- Inversiones y amortización

La inversión a realizar en esta planta se ha calculado en 170,9 Mpts.

Suponiendo un período de amortización de 10 años con valor residual cero, resulta una amortización anual de 17,09 Mpts.

9.2.3.2.- Capital circulante

Se considera necesario disponer de 20,8 Mpts para hacer frente a los pagos de compra de residuos, financiación de los stocks de carbón vegetal que se produzcan y atender los gastos de personal, costes de energía, etc.

9.2.3.3.- Coste de operación

- Personal

Se considera necesario un operario por turno para atender a las tres cámaras de gasificación cuyo costo se calcula en 1,2 Mpts, por tanto el costo anual es de 3,6 Mpts.

- Energía eléctrica

La potencia a instalar en esta instalación sería de 37,57 KWh por hora de trabajo, resultando sobre las 5.760 horas/año un consumo anual de 216.403 KWh, que a un precio medio de 11 pts/KWh resulta un costo anual de 2,38 Mpts.

- Mantenimiento y repuestos

Se considera un costo total anual equivalente al 3% del valor de los equipos mecánicos y eléctricos.

- Equipos:

$$37,15 - 17,2 = 19,95 \times \left(\frac{21}{7}\right)^{0,67} = 41,65 + 17,2 \times 3 = 93,25 \text{ Mpts}$$

- Eléctricos:

$$2,2 \times \left(\frac{21}{7}\right)^{0,67} \dots\dots\dots 4,60 \text{ Mpts}$$

$$\text{Total} \dots\dots\dots \underline{97,85 \text{ Mpts}}$$

Costo anual: $97,85 \times 0,03 = 2,93 \text{ Mpts.}$

- Seguro

Se considera el costo de una póliza de seguros contra incendios para cubrir los riesgos de incendio de la planta y de los materiales combustibles almacenados, cuyo costo de prima anual se estima en 0,15 Mpts.

- Resumen de costos de operación

. Personal	3,6 Mpts/año
. Energía eléctrica	2,38 "
. Mantenimiento y repuestos ..	2,93 "
. Seguros	0,15 "
	<hr/>
Total coste operación	9,06 Mpts/año

9.2.3.4.- Costos de materia prima

Según lo indicado en el punto 9.2.1. (Datos técnicos básicos) la capacidad de tratamiento de la planta es de 3.000 kg/h de residuos forestales con 15% de humedad.

Como el residuo se recibe en la planta con una humedad media estimada del 40%, las necesidades de materia prima adqui

rida por hora de funcionamiento son: $3.000 \times 1,4/1,5 = 3.652$ kg. Las horas de funcionamiento anual se han evaluado en 5.760 horas. Por tanto el consumo anual de residuos forestales triturados es de 21.000 t.

Haciendo unas previsiones de coste de 3.000 pts/t, el coste anual de la materia prima alcanza los 63 Mpts.

9.2.3.5.- Ingresos por ventas

Los ingresos por venta proceden de la valoración del gas generado y consumido por la Sociedad Promotora y por la venta para usos industriales del carbón vegetal producido.

La energía del gas generado alcanza a 6×10^6 Kcal/h, - que sobre las 5.760 horas de funcionamiento, supone una producción de $34,56 \times 10^6$ termias.

Valorando el gas generado al precio de 1,6 pts/termia a que resulta la termia en astillas, el valor total del gas generado asciende a 55,29 Mpts.

El carbón vegetal producido por hora de funcionamiento es de 600 kg/h, resultando una producción total anual de 3.456 t.

Consideramos para el cálculo, un precio de venta del carbón vegetal de 20.000 pts/t franco fábrica, lo que supone un ingreso por venta de 69,12 Mpts.

Los ingresos totales anuales alcanzan por tanto un monto de 124,41 Mpts.

9.2.3.6.- Resumen de los datos bases para el cálculo de los flujos de caja y de la tasa interna de retorno (T.I.R.)

- Inversión	170,9 Mpts
- Amortización (en 10 años)	17,09 "
- Capital circulante	20,8 "
- Costes de operación	9,06 "
. Personal	3,6 Mpts
. Energía	2,38 "
. Mantenimiento y repuestos	2,93 "
. Seguros	0,15 "
- Coste de materia prima	63,00 Mpts
- Ingresos	124,41 "
. Por venta de gas	55,29
. Por venta de carbón	69,12

9.2.3.7.- Cálculos de flujo de caja y T.I.R.

En base a los datos aportados se realiza el cuadro de flujos de caja que se inserta a continuación, en el cual se han considerado millones de pesetas constantes de 1985.

La tasa interna de retorno para el flujo de caja calculado resulta ser del 17,77%.

9.2.3.8.- Cálculos de sensibilidad

Siguiendo los mismos criterios que los señalados en el punto 8.5.8. se dan a continuación las tablas de variaciones de la T.I.R. de los cálculos de sensibilidad por:

- Ingresos por venta de carbón
- Costes por compra de materia prima
- Costes por compra de materia prima y ventas de carbón

ANNO	VENTAS		COSTES		AMORT	95	INFU	8N	INVER	CF
	CARBON	GAS	M.P.	M.O.						
0						0.00	0.00	0.00	170.90	-170.90
1	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62	20.80	19.71
2	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
3	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
4	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
5	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
6	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
7	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
8	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
9	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62		40.71
10	69.12	55.29	63.00	9.06	17.09	35.26	11.64	23.62	-20.80	61.51

T.I.R. 17.77%

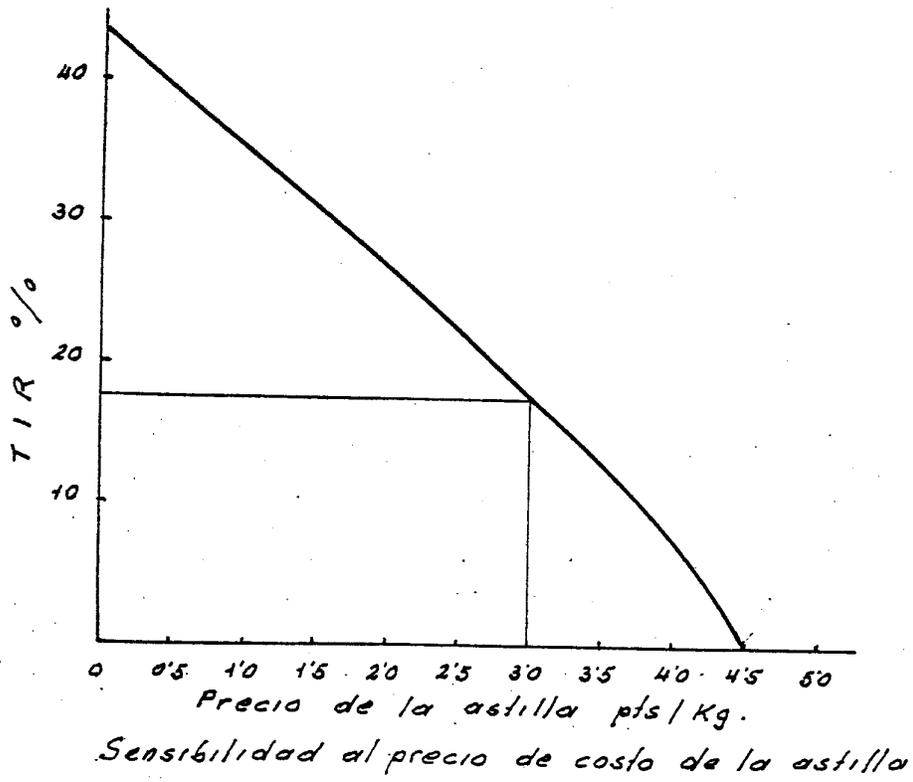
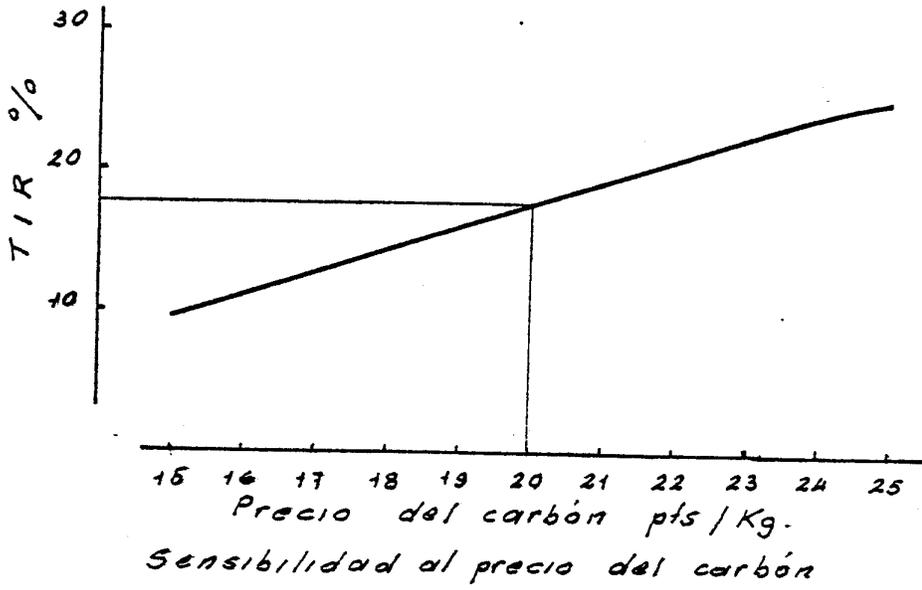
SENSIBILIDAD

VENTAS		M.P.	
	17.77%		17.77%
15.00	9.67%	0.00	43.67%
16.00	11.36%	0.50	39.54%
17.00	13.01%	1.00	35.37%
18.00	14.62%	1.50	31.13%
19.00	16.21%	2.00	26.90%
20.00	17.77%	2.50	22.36%
21.00	19.30%	3.00	17.77%
22.00	20.81%	3.50	12.94%
23.00	22.31%	4.00	7.80%
24.00	23.79%	4.50	0.02
25.00	25.25%	5.00	NEG.

Coste de astillas pts/kg.

Ventas carbon pts/kg.	Coste de astillas pts/kg.										
	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
17.77%											
15.00	36.85%	32.64%	28.35%	23.95%	19.42%	14.68%	9.67%	4.24%	NEG.	NEG.	NEG.
16.00	38.23%	34.03%	29.77%	25.41%	20.93%	16.27%	11.36%	6.09%	0.26%	NEG.	NEG.
17.00	39.59%	35.42%	31.18%	26.86%	22.42%	17.82%	13.01%	7.87%	2.25%	NEG.	NEG.
18.00	40.96%	36.80%	32.57%	28.29%	23.90%	19.36%	14.62%	9.60%	4.17%	NEG.	NEG.
19.00	42.32%	38.17%	33.98%	29.72%	25.36%	20.87%	16.21%	11.29%	5.02%	0.18%	NEG.
20.00	43.67%	39.54%	35.37%	31.13%	26.80%	22.36%	17.77%	12.94%	7.80%	2.18%	NEG.
21.00	45.02%	40.91%	36.75%	32.53%	28.24%	23.84%	19.30%	14.56%	9.54%	4.10%	NEG.
22.00	46.37%	42.26%	38.12%	33.93%	29.66%	25.30%	20.81%	16.15%	11.23%	5.95%	0.10%
23.00	47.71%	43.62%	39.49%	35.31%	31.08%	26.75%	22.31%	17.71%	12.88%	7.74%	2.11%
24.00	49.05%	44.97%	40.85%	36.70%	32.48%	28.18%	23.79%	19.24%	14.50%	9.47%	4.03%
25.00	50.39%	46.31%	42.21%	38.07%	33.87%	29.61%	25.25%	20.76%	16.09%	11.17%	5.82%

CURVAS DE SENSIBILIDAD.



9.3.- PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 28.000 t/AÑO DE
ASTILLAS (4 CAMARAS)

Partiendo de la base del estudio anterior (punto 8) se estudia la instalación de una planta capaz de tratar 28.000 t/año de astillas, trabajando en las mismas condiciones, o sea, 5.760 horas/año (48 semanas/año, 5 días/semana y 24 horas/día).

9.3.1.- Datos técnicos básicos

Los datos técnicos para la operación de esta planta serán:

- Capacidad de transformación: 4.000 kg/h de residuos forestales con un 15% de humedad.
- Productos obtenidos:
 - . Gas combustible: 4.000 kg/h de gas de 2.000 Kcal/kg equivalente a 8×10^6 Kcal/h.
 - . Carbón vegetal: 800 kg/h de carbón de 6.500 Kcal/kg equivalente a $5,2 \times 10^6$ Kcal/h.

9.3.2.- Inversiones

Se considera para esta planta la instalación en paralelo de cuatro cámaras de gasificación-carbonización, cuyo valor es de 17,2 Mpts x 4 = 68,8 Mpts.

El resto de la inversión se calcula por la fórmula de Williams, o sea,

$$74,34 - 17,2 = 57,14 \text{ Mpts, } I = 57,14 \left(\frac{28}{7} \right)^{0,67} = 144,65 \text{ Mpts, por tanto la inversión total será } 144,65 + 68,8 = 213,45 \text{ Mpts.}$$

9.3.3.- Rentabilidad de la instalación

9.3.3.1.- Inversiones y amortización

La inversión a realizar en esta planta se ha calculado en 213,45 Mpts.

Suponiendo un período de amortización de 10 años con valor residual cero, resulta una amortización anual de 21,34 Mpts.

9.3.3.2.- Capital circulante

Se considera necesario disponer de 25,3 Mpts para hacer frente a los pagos por compra de residuos, financiación de stocks de carbón vegetal que se produzcan y atender los gastos de personal, costes de energía, etc.

9.3.3.3.- Costes de operación

- Personal

Se considera necesario un operario por turno, para atender a las cuatro cámaras de gasificación, cuyo coste se calcula en 1,2 Mpts, por tanto el coste anual es de 3,6 Mpts.

- Energía eléctrica

La potencia a instalar en esta instalación es de 45,56 KWh por hora de trabajo, resultando sobre las 5.760 horas/año - un consumo anual de 262.425 KWh, que a un precio medio de 11 pts/KWh, resulta un costo anual de 2,88 Mpts.

- Mantenimiento y repuestos

Se considera un costo total anual equivalente al 3% del valor de los equipos mecánicos y eléctricos.

- Equipos:

$$37,15 - 17,2 = 19,95 \times \left(\frac{28}{7}\right)^{0,67} = 50,50 + 68,8 = 119,3 \text{ Mpts}$$

- Eléctrico:

$$2,2 \left(\frac{28}{7}\right)^{0,67} \dots\dots\dots 5,56 \text{ Mpts}$$

$$\text{Total} \dots\dots\dots 124,86 \text{ Mpts}$$

$$\text{Costo anual } 124,86 \times 0,03 = 3,75 \text{ Mpts}$$

- Seguros

Se considera el costo de una póliza de seguros contra incendios para cubrir los riesgos de incendio de la planta y de los materiales combustibles almacenados, cuyo costo de prima anual se estiman en 0,15 Mpts.

- Resumen de costes de operación

- Personal	3,6	Mpts
- Energía eléctrica	2,88	"
- Mantenimiento y repuestos	3,75	"
- Seguros	0,15	"
	<hr/>	
Total coste operación	10,38	Mpts

9.3.3.4.- Costos de materia prima

Según lo indicado en el punto 9.3.1. (Datos técnicos básicos) la capacidad de tratamiento de la planta es de 4.000 kg/h de residuos forestales con 15% de humedad.

Como el residuo se recibe en planta con una humedad media estimada del 40%, las necesidades de materia prima adquirida por hora de funcionamiento, son $4.000 \times 1,4/1,15 = 4.870$ kg. Los costes de funcionamiento anual se han evaluado en 5.760 horas. Por tanto el consumo anual de residuos forestales triturados es de 28.000 t.

Haciendo una previsión de coste de 3.000 pts/t, el coste anual de la materia prima alcanza los 84 Mpts.

9.3.3.5.- Ingresos por ventas

Los ingresos por venta proceden de la valoración del gas generado y consumido por la Sociedad Promotora y por la venta para usos industriales del carbón vegetal producido.

La energía del gas generado alcanza a 8×10^6 Kcal/h, - que sobre las 5.760 horas de funcionamiento supone una producción anual de $46,08 \times 10^6$ termias.

Valorando el gas generado al precio de 1,6 pts/termia a que resulta la termia en astillas, el valor total del gas generado asciende a 73,72 Mpts.

El carbón vegetal producido por hora de funcionamiento es de 800 kg/h, resultando una producción total anual de 4.608 t.

Consideramos para el cálculo un precio de venta del carbón vegetal de 20.000 pts/t, franco fábrica, lo que supone un ingreso por venta de 92,16 Mpts.

Los ingresos totales anuales alcanzan por tanto un monto de 165,88 Mpts.

9.3.3.6.- Resumen de los datos bases para el cálculo de los flujos de caja y de la tasa interna de retorno (T.I.R.)

- Inversión	213,45	Mpts
- Amortización (en 10 años)	21,34	"
- Capital circulante	25,30	"
- Costes de operación	10,38	"
. Personal	3,6	Mpts
. Energía.....	2,88	"
. Mantenimiento y repuestos	3,75	"
. Seguro	0,15	"
- Coste de materia prima	84,00	Mpts
- Ingresos	165,88	"
. Por venta de gas	73,72	Mpts
. Por venta de carbón	92,16	"

9.3.3.7.- Cálculos de flujo de caja y T.I.R.

En base a los datos aportados se realiza el cuadro de flujos de caja que se inserta a continuación, en el cual se han considerado millones de pesetas constantes de 1985.

La tasa interna de retorno para el flujo de caja calculado resulta ser del 19,99%.

9.3.3.8.- Cálculos de sensibilidad

Siguiendo los mismos criterios que los señalados en el punto 8.5.8. se dan a continuación las tablas de variaciones de la T.I.R. de los cálculos de sensibilidad por:

- Ingresos por venta de carbón
- Costes por compra de materia prima
- Costes por compra de materia prima y ventas de carbón

ANNO	VENTAS		COSTES		AMORT	BB	IMPU	SN	INVER	CF
	CARBON	GAS	M.P.	M.D.						
0						0.00	0.00	0.00	213.45	-213.45
1	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61	25.30	29.65
2	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
3	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
4	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
5	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
6	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
7	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
8	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
9	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61		54.95
10	92.16	73.72	84.00	10.38	21.34	50.16	16.55	33.61	-25.30	80.25

T.I.R. 19.99%

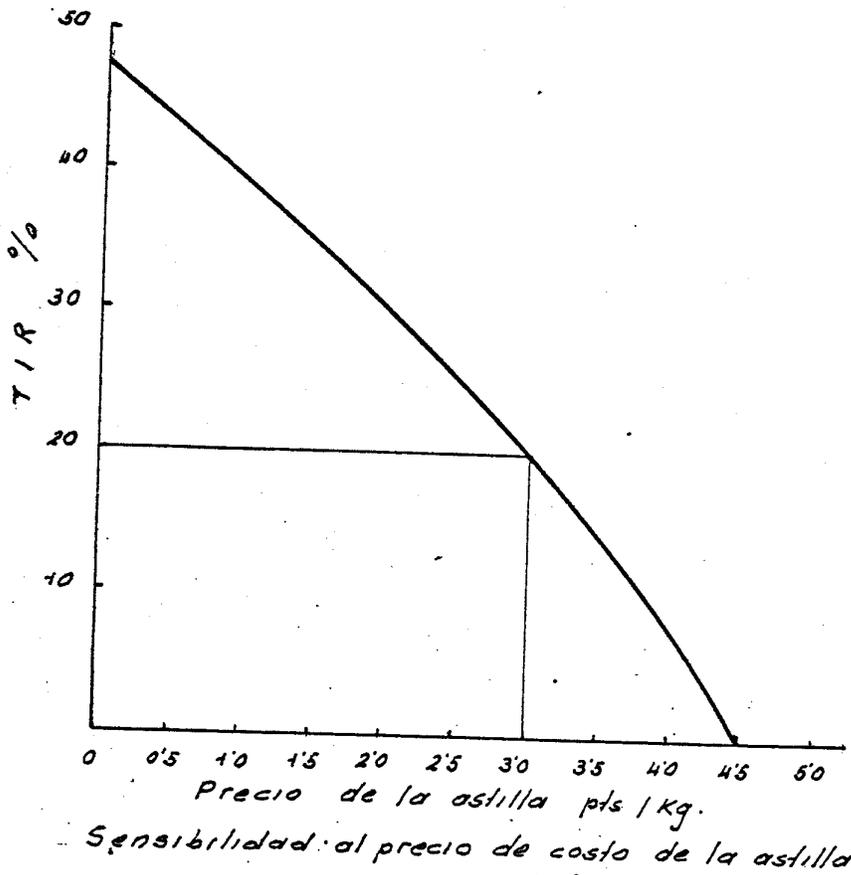
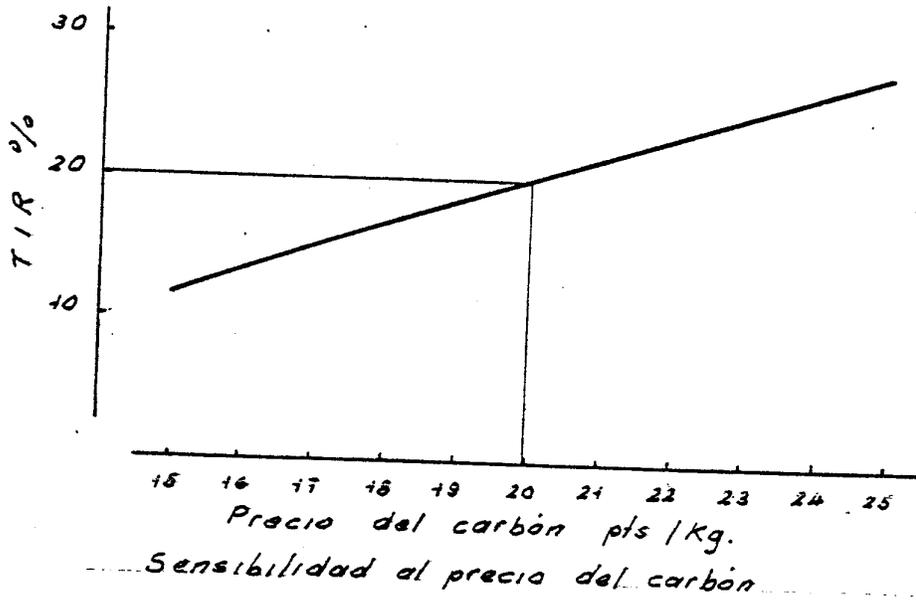
SENSIBILIDAD

VENTAS		M.P.	
	19.99%		19.99%
13.00	11.53%	0.00	47.34%
14.00	13.29%	0.50	42.96%
17.00	15.01%	1.00	38.53%
18.00	16.70%	1.50	34.03%
19.00	18.36%	2.00	29.49%
20.00	19.99%	2.50	24.82%
21.00	21.60%	3.00	19.99%
22.00	23.19%	3.50	14.94%
23.00	24.76%	4.00	9.58%
24.00	26.31%	4.50	0.04
25.00	27.85%	5.00	NEG.

Coste de astillas pts/kg.

Ventas carbon pts/kg.	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
19.99%											
15.00	40.11%	35.65%	31.12%	26.49%	21.72%	16.76%	11.53%	5.88%	NEG.	NEG.	NEG.
16.00	41.56%	37.12%	32.62%	28.02%	23.31%	18.42%	13.29%	7.79%	1.74%	NEG.	NEG.
17.00	43.01%	38.59%	34.11%	29.55%	24.88%	20.05%	15.01%	9.65%	3.91%	NEG.	NEG.
18.00	44.46%	40.05%	35.59%	31.06%	26.43%	21.66%	16.70%	11.46%	5.80%	NEG.	NEG.
19.00	45.90%	41.51%	37.07%	32.56%	27.97%	23.25%	18.36%	13.22%	7.72%	1.66%	NEG.
20.00	47.34%	42.96%	38.53%	34.05%	29.49%	24.82%	19.99%	14.94%	9.58%	3.74%	NEG.
21.00	48.77%	44.40%	40.00%	35.54%	31.00%	26.37%	21.60%	16.63%	11.39%	5.73%	NEG.
22.00	50.20%	45.84%	41.45%	37.01%	32.50%	27.91%	23.19%	18.29%	13.15%	7.65%	1.58%
23.00	51.63%	47.28%	42.90%	38.48%	34.00%	29.43%	24.76%	19.93%	14.88%	9.51%	3.66%
24.00	53.05%	48.72%	44.35%	39.94%	35.48%	30.95%	26.31%	21.54%	16.57%	11.32%	5.65%
25.00	54.48%	50.15%	45.79%	41.40%	36.95%	32.45%	27.85%	23.13%	18.23%	13.09%	7.58%

CURVAS DE SENSIBILIDAD.



10.- CONCLUSION FINAL

En las pruebas de carbonización de astillas de pino, realizadas en INOLCA (Cáceres), no se han alcanzado las producciones estimadas por el constructor de la instalación. No obstante, aun admitiendo deficiencias en la marcha de la operación de la planta y que éstas se pudiesen subsanar en futuras instalaciones, mediante la instalación de una adecuada instrumentación de control, la rentabilidad de este tipo de instalaciones queda supeditada al aprovechamiento del gas y según el caso particular de cada sociedad promotora.

Se debe destacar la alta sensibilidad al precio de coste de la astilla, que evidentemente, depende de la situación de los mercados locales.