

0413

Ministero degli Affari Esteri
Dipartimento per la Cooperazione
allo Sviluppo
Centro Studi Energia
Renzo Tasselli

Ministerio de Minas y Energía
Departamento Nacional de
Planeación
Corporación Autónoma Valle
del Cauca

**PROYECTO COSTA PACIFICA
RECURSOS DE BIOMASAS
PLANTAS ELECTRICAS DE GASIFICACION**

**ACUERDO COMPLEMENTARIO ENTRE
CVC-ICEL-CESEN**

Genova, Marzo 1987

CESEN

Copia No Controlada CVC

INDICE

	Pág.
1. PLANTAS DE GASIFICACION	1
1.1 Preparación del combustible	1
1.2 Carga del combustible	2
1.3 Gasógeno	3
1.4 Espolvoreadores ciclónicos	4
1.5 Enfriamiento del gas	4
1.6 Depuración del gas	5
1.7 Extracción del gas	5
1.8 Grupo motor-alternador	6
1.9 Tablero de paralelo	6
1.10 Desecación del combustible	7
2. EVALUACION PARAMETRICA DE LAS PLANTAS ELECTRICAS DE GASIFICACION	9
2.1 Plantas con depuración del gas en seco	9
2.2 Plantas con depuración del gas por vía húmeda	9
3. PLANTA DE GASIFICACION DE 80 KW	10
3.1 Características generales	10
3.2 Preparación del combustible	10
3.3 Sistema de producción de energía	11
3.3.1 Gasificador	11
3.3.2 Tratamiento del gas	13
3.3.3 Alimentación doble paralela	13
3.3.4 Mezclador gas - aire	13
3.3.5 Grupo motor - alternador	15
3.3.6 Sistema doble gasógeno - motor - alternador	15
3.3.7 Grupo electrógeno diesel auxiliar	16
3.3.8 Reglaje e instrumentación	16

Copia No Controlada CVC

1. PLANTAS ELECTRICAS DE GASIFICACION

Respecto a las plantas de gasificación se pueden distinguir las siguientes tecnologías:

- a) gasificación con depuración en seco
- b) gasificación con depuración por vía húmeda

La gasificación con depuración en seco es muy simple y concierne esencialmente la gama de potencias 20-100 kW.

La gasificación con depuración por vía húmeda necesita un equipo complejo, apropiado para potencias de 100-250 kW.

Las potencias indicadas se refieren al módulo aunque se puedan unir dos o más módulos, obteniendo de tal manera potencias múltiples. En muchos casos, se tomó en cuenta la configuración de dos módulos que asegura mayor flexibilidad de servicio.

Componentes:

A fin de simplificar la descripción, se subdivide la planta en las siguientes secciones:

- preparación del combustible
- espolvoreadores ciclónicos
- enfriamiento del gas
- depuración del gas
- extracción del gas
- grupo electrógeno
- tablero de paralelo
- desecación del combustible

La siguiente descripción ilustra en general la sección y caracteriza las tecnologías distinguiendo las plantas de tipo "a" de las plantas de tipo "b".

1.1 PREPARACION DEL COMBUSTIBLE

Para preparar el combustible se pueden utilizar leña en troncos, ramas y desechos de serrería.

Los troncos y las ramas de diámetro superior a 10 cm se deben romper según su largo mediante máquina de sacar astillas.

- a) En lo que se refiere a las plantas de pequeño tamaño, las ramas y los troncos pequeños de 4-8 cm de diámetro se tratan con máquina chipadora de pequeña potencia (con sierra circular) para producción de astillas de 8x5x3 cm. Estas dimensiones se deben considerar tan solo como dimensiones de referencia ya que como dimensiones mínima, media y máxima se puede adoptar 1-5 - 10 cm. Las ramas y los troncos pequeños pueden tratarse también con máquina chipadora (con hojas), reducirse en astillas de 2x1x0,5 cm y añadirse a los de mayor tamaño según un porcentaje de 10-20%.
- b) En las plantas de más de 100 kW, debido al elevado consumo de combustible, necesita utilizar una máquina chipadora de grande potencia y productividad.
Este tipo de máquina puede tratar troncos de diámetros hasta 10-15 cm.

1.2 CARGA DEL COMBUSTIBLE

- a) En las plantas hasta 100 kW, la carga del combustible y la eliminación de las cenizas son operaciones manuales periódicas. Estas operaciones pueden automatizarse pero no se toma en cuenta tal solución debido a la escasa fiabilidad de los equipos y sobre todo en consideración al alto coste de tales automatismos. La frecuencia de las cargas depende de la potencia producida; en régimen de potencia máxima, se efectúa, en promedio, una carga/hora.
- b) Las plantas de potencia superior a 100 kW están provistas de dispositivo automático de carga del combustible y de equipo de extracción intermitente de las cenizas.
El equipo de carga está provisto de una apropiada tolva desde la cual se transporta el combustible hasta la boca de carga mediante un transportador de cangilones.

El dosificador puede realizarse de dos modos distintos: con doble compuerta o bien con bola de estanqueidad.

Con el equipo de doble compuerta, se tiene siempre a lo menos una compuerta cerrada: cuando se cierra la compuerta de carga, se abre la compuerta externa y se carga el combustible en la cámara de dosaje. Cuando la cámara de dosaje está bastante llena, se cierra la compuerta externa y se abre la de carga que deja caer el combustible en el gasógeno y se cierra de nuevo para garantizar una apropiada estanqueidad.

Con el equipo de bola de estanqueidad, el dosificador está constituido por una bola con agujero de carga y cámara de dosaje (dentro de la bola).

El sistema de reglaje acciona el transportador de cangilones que carga la cámara de dosaje; luego gira la bola de 360° descargando automáticamente el combustible en el gasógeno.

El equipo de extracción de ceniza se realiza, por lo general, de los modos siguientes:

- funcionamiento intermitente de un transportador de tornillo helicoidal que encamina la ceniza a un contenedor
- la rotación de la parrilla hace caer las cenizas en un contenedor.

1.3 GASOGENO

a) El combustible bastante seco se introduce en el gasógeno mediante un equipo muy simple accionado por el operador.

Durante el funcionamiento normal, el sistema de abertura y de cierre debe mantenerse absolutamente cerrado para que no pueda salir gas (CO) dañoso por inhalación y para eliminar el peligro de explosiones.

El gasógeno está constituido por un cuerpo cilíndrico de eje vertical que sirve como tanque de almacenamiento del combustible y como precalentador del material chipado. En la parte más abajo se encuentra la zona de reacción en donde se efectúa la gasificación de la leña. En esta sección hay un estrechamiento de embudo (diablo), los inyectores de aire y la parrilla de sostén del hogar.

El aire de combustión necesario para el proceso que, siendo la planta en función, es aspirado directamente por el motor, entra a través de una abertura situada en la parte inferior del gasógeno y se distribuye, a través de un colector circular, en un grupo de tubos radiales que lo introducen en la zona de reacción.

El material en proceso de gasificación es tan solo el que se encuentra inmediatamente por encima del estrechamiento (diablo) y el carbón de leña que efectúa la reducción $\text{CO}_2\text{-CO}$.

El gas producido sube al exterior del colector dentro de un espacio intermedio y sale a través de una abertura situada arriba.

- b) Las plantas de más de 100 kW, provistas de dispositivo de carga automático, están equipadas con gasógeno de cuerpo cilíndrico vertical parecido al de las plantas de pequeño tamaño.

La mayor diferencia se encuentra en la parte inferior bajo la zona de reacción; en efecto, se prevee, en general, una parrilla mecánica circular para manoseo del combustible reaccionando (carbón incandescente) y extracción continua de la ceniza que, a no ser eliminada, puede parar el flujo y, por lo tanto, el funcionamiento.

1.4 ESPOLVOREADORES CICLONICOS

El gas producido por el gasógeno contiene un pequeño porcentaje de polvos que deben eliminarse antes de su ingreso en el motor.

A este fin, en todas las plantas de gasificación se prevee uno o dos espolvoreadores ciclónicos para captura de los corpúsculos más pesados.

1.5 ENFRIAMIENTO DEL GAS

El gas sale del gasógeno a una temperatura de 250-300°C que debe reducirse a unos 50°C. A este fin, se prevee un haz tubular, después de los espolvoreadores ciclónicos, con colectores de entrada y salida para enfriamiento del gas por convección natural y forzada.

- a) En las plantas pequeñas, se obtiene el enfriamiento mediante tan solo el haz tubular.
- b) En las plantas de más de 100 kW, se completa el enfriamiento mediante lavado del gas.

1.6 DEPURACION DEL GAS

En el sistema de depuración se nota la mayor diferencia entre tipos de planta y tecnologías.

a) Depuración en seco

En las plantas de pequeño tamaño se efectúa la filtración del gas mediante una serie de filtros de bolsa con tejido de fibra de vidrio.

b) Depuración por via húmeda

En las plantas de potencia superior a 100 kW, se efectúa, por lo general, el lavado del gas mediante chorro pulverizado de agua fría. Este sistema permite obtener una mejor depuración aunque cause dificultades adicionales respecto al filtraje y al enfriamiento del agua de lavado y a la extracción y condensación del agua arrastrada por el gas.

1.7 EXTRACCION DEL GAS

- a) En todas las plantas, después de las secciones de enfriamiento y depuración se encuentra un ventilador centrífugo para aspiración del gas.

El ventilador es indispensable, en la fase de arranque para encender el gasógeno.

En defecto de una red eléctrica, el sistema debe estar provisto de un motor de corriente continua y de acumuladores con dínamos para cargarlos.

Después de puesto en marcha el gasógeno y el motor se puede desconectar el ventilador ya que el motor aspira el gas y mantiene en funcionamiento el gasógeno.

- b) En las plantas de potencia superior a los 100 kW, el ventilador funciona también en condiciones de servicio normal suministrando una modesta sobrealimentación al motor.

1.8 GRUPO MOTOR-ALTERNADOR

El grupo motor-alternador es muy parecido a un grupo electrógeno diesel. Con este equipo, se utilizan motores diesel modificados para funcionamiento en ciclo Otto y acoplados a generadores de corriente alterna, 380 V, trifásica.

Las más importantes modificaciones al motor se efectúan respecto al carburador con mezclador aire/gas y regulador de potencia, a la relación de compresión que se reduce, y al sistema de encendido por batería y bujías de encendido.

- a) Respecto a las plantas con depuración del gas en seco, el mayor problema se debe a la presencia de residuos sólidos incombustos e inertes que pueden causar incrustaciones y erosiones y aún corrosiones en presencia de gas corrosivo.
- b) En las plantas con depuración por vía húmeda, el gas producido es de calidad mejor en lo que se refiere a los residuos sólidos o condensables pero el alto porcentaje de humedad puede causar corrosión sobretodo si la planta está sujeta a frecuentes paradas.

1.9 TABLERO DE PARALELO

Respecto a la parte eléctrica, constituida por el generador y los tableros eléctricos, no hay diferencias importantes entre los varios tipos de planta.

En caso de que se instale un grupo motor/alternador único para alimentación de una red aislada, no necesita el tablero de paralelo y el tablero de mando es, por consiguiente, muy simple.

En caso de dos o más generadores que alimentan una red aislada o de uno o más generadores que alimentan una red conectada a la red

eléctrica nacional (a través de un transformador elevador de voltaje) es indispensable prever el tablero de paralelo que sirve para conectar el grupo generador (en fase de arranque) a la línea ya con corriente.

- a) Respecto a las plantas de potencia hasta 100 kW, se prevee, por lo general, un tablero de paralelo semiautomático.
- b) Para las plantas de potencia superior a 100 kW, se prevee un tablero de paralelo completamente automático.

1.10 DESECACION DEL COMBUSTIBLE

Después del corte del bosque, la leña contiene del 30% al 50% de humedad; tal contenido de agua es demasiado alto para que se pueda utilizarla en las plantas de gasificación sobre todo en las plantas con depuración en seco.

Con desecación natural, el contenido de humedad puede reducirse al 15% con tal que se almacene la leña en un ambiente seco y cubierto.

- a) Las plantas con depuración en seco pueden alimentarse con leña con tenor de humedad del 10-15%. El sistema que asegura las mejores características de funcionamiento de la planta prevee la instalación de un desecador para leña o tostadora.

El desecador consiste en un contenedor con revestimiento termoaislante y revestimiento de protección. Las modalidades de carga y descarga del combustible se deben estudiar con mucha atención a fin de asegurar una muy fácil conducción.

La leña, de tamaño apropiado para alimentación del gasógeno, puede introducirse en la tostadora también después de unos días a salir del corte del bosque; esto permite reducir la energía necesaria para la operación de desmenuzado (leña verde).

Después de cargada la leña, se conecta el tubo de salida de gases del motor al ingreso del desecador, bajo el cuerpo de la tostadora.

Durante el funcionamiento de la planta, la temperatura del gas de salida del motor alcanza unos 300°C. En el ciclo térmico total, el calor contenido en los gases de exhaustación del motor es más que suficiente para el tostado.

El gas entra en la tostadora a unos 250°C y sale a una temperatura de cerca de 100°C durante casi toda la fase de desecación.

El operador controla el funcionamiento mediante un termómetro situado en el flujo de gas de escape de la tostadora; en efecto, al terminar la desecación, la temperatura que se había quedado cerca de 100°C empieza a aumentar.

El flujo de gas se interrumpe a una temperatura de más o menos 200°C y la leña tostada puede encaminarse directamente al gasógeno o bien a una tolva situada cerca de la planta.

- b) Las plantas con depuración por vía húmeda se alimentan, por lo general, con leña desecada al aire libre (10-15% de humedad) o con desechos de serrerías.

Copia No Controlada C/C

2. EVALUACION PARAMETRICA DE LAS PLANTAS ELECTRICAS DE GASIFICACION

2.1 PLANTAS CON DEPURACION DEL GAS EN SECO

Potencia total del módulo (kW)	80	200
Eficiencia (%)	25	25
Costos (MLit)	120	310
(U.S.\$)	92.000	238.000

2.2 PLANTAS CON DEPURACION DEL GAS POR VIA HUMEDA

Potencia total del módulo (kW)	125	300
Eficiencia (%)	20	20
Costos (MLit)	370	850
(U.S.\$)	284.000	654.000

1. US \$ = 1.300 Lit.

3. PLANTA DE GASIFICACION DE 80 kW

3.1 CARACTERISTICAS GENERALES

La planta propuesta está constituida por una sección de producción, acumulación y preparación del combustible, una sección para producción de energía y una sección de transformación y distribución de la energía eléctrica.

La leña se transporta al parque combustible en donde se reduce al tamaño más apropiado para el gasificador y se apila bien protegida contra la intemperie.

Después de descargado, se alimenta el combustible al gasificador en donde se produce gas conteniente de 15 a 20% de CO. Después de depurado en un ciclón, se enfría el gas y se filtra.

El gas combustible, mezclado con aire, se utiliza para alimentar un motor a combustión interna (ciclo Otto), acoplado con un alternador.

La energía eléctrica producida se envía a media tensión a la red eléctrica.

3.2 PREPARACION DEL COMBUSTIBLE

La leña se lleva al parque combustible sobretodo en troncos. Una parte de las ramas y las malezas se pueden chipar en el bosque y se transportan, por lo tanto, a la central ya listas para el uso. Después de unos meses de desecación natural, los troncos se desmenuzan en pezados por medio de una máquina chipadora. La dimensión óptima de los chops es de 8 x 5 x 3 cm pero se puede utilizar también un 10 - 20% de astillas más pequeñas y chips (0,5-2 cm).

Después de preparado de tal manera, el combustible se apila bajo un techo o se almacena en silos elevados sobre el nivel del suelo y provistos de dispositivo de descarga automática en los carrillos de transporte.

3.3 SISTEMA DE PRODUCCION DE ENERGIA

3.3.1 Gasificador

El combustible se pone, en primer lugar, en una tostadora atravesada por los gases de escape del motor. De esta manera, se puede eliminar el contenido de humedad.

Después de desecado, el combustible se introduce en el gasógeno a través de un sistema de abertura - cierre, que, durante el funcionamiento normal, debe mantenerse absolutamente cerrado para que no pueda salir gas CO, dañoso por inalación y por el peligro de explosiones.

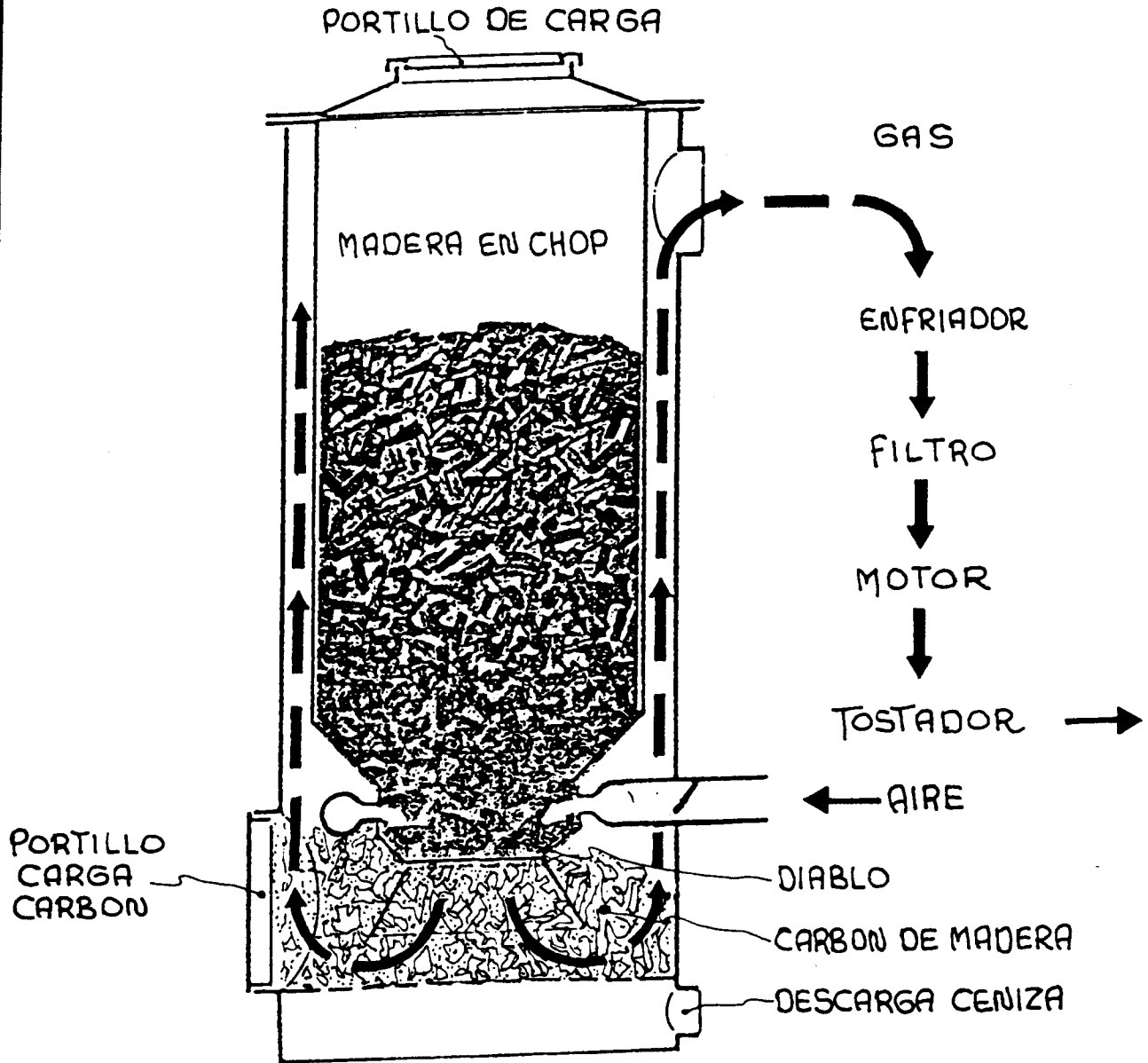
El gasógeno está constituido por un cuerpo cilíndrico de eje vertical que sirve como tanque de almacenamiento del combustible y como precalentador del material chipado. En la parte más abajo se encuentra la zona de reacción en donde se efectúa la gasificación de la leña. En esta sección hay un estrechamiento de embudo (diablo), los inyectores de aire y la parrilla de sostén del hogar.

El aire de combustión necesario para el proceso, con planta a regimen, es aspirado directamente por el motor. El aire entra a través de una abertura situada en la parte inferior del gasógeno y se distribuye, a través de un colector circular, en un grupo de tubos radiales que lo introducen en la zona de reacción.

El material en proceso de gasificación es el que se encuentra por encima del estrechamiento (diablo) y el carbón de leña que efectúa la reducción CO_2-CO .

El gas producido sube al exterior del colector dentro de un espacio intermedio y sale a través de una abertura situada arriba.

La frecuencia de carga depende de la potencia producida; en régimen de potencia máxima se efectúa en promedio una carga por hora.



CESEN	ESQUEMA DEL GASOGENO
--------------	----------------------

3.3.2 Tratamiento del gas

El gas producido en el gasógeno necesita un tratamiento de depuración y enfriamiento antes de ser alimentado al motor.

Secuencialmente, se encuentra un separador cinético o ciclón que detiene las partículas más pesadas. El gas entra luego en un enfriador constituido por un colector de ingreso, un haz tubular y un colector de salida que reduce la temperatura del gas de 250°C a 50 - 80°C.

Luego, el gas atraviesa otro ciclón y un filtro de tejido que detiene los polvos de cenizas y de materiales incombustos.

3.3.3 Alimentación doble paralela

La línea de producción y depuración descrita arriba es del tipo doble paralelo para facilitar el funcionamiento del gasificador mejorando al mismo tiempo el servicio de la planta.

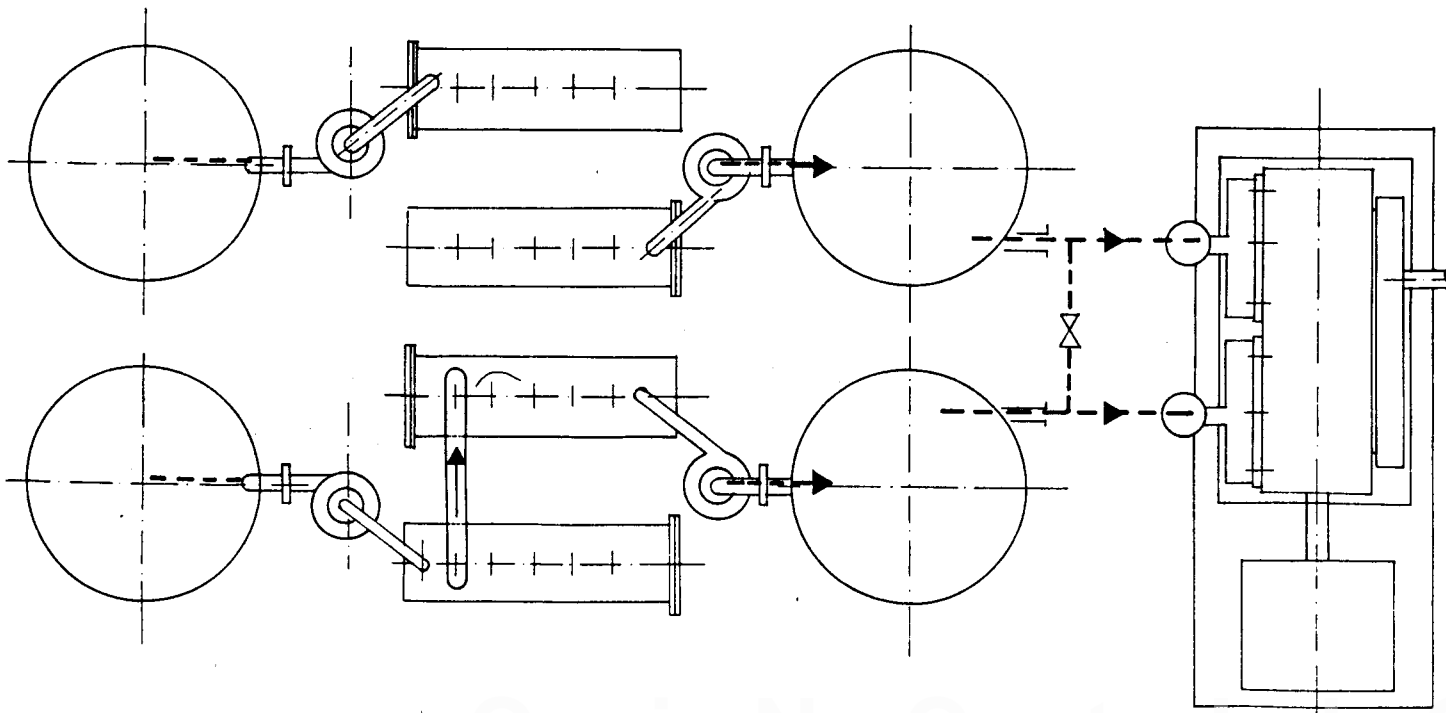
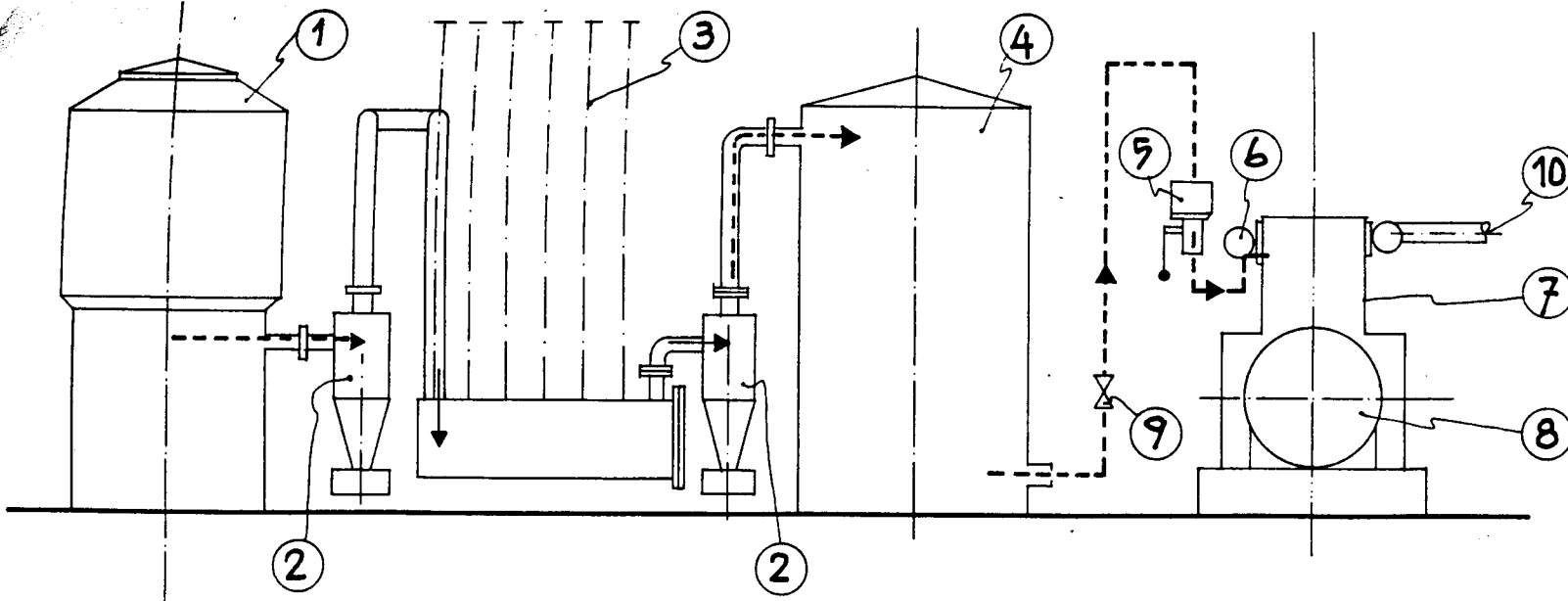
El sistema doble paralelo permite parar una línea de gasificación para cargar el combustible o para mantenimiento y descarga de ceniza sin parar el motor ni tan poco la producción de energía eléctrica.

Después de cargado, el gasógeno se pone de nuevo en marcha inmediatamente en cuanto a que el hogar mantiene una temperatura elevada de 600 - 700°C.

En caso de que un gasógeno se encuentre en fase de mantenimiento, durante la carga del combustible necesita cerrar la válvula de entrada del aire, alimentando el aire a través de la tapa del gasógeno a fin de evitar el tiro natural con escape de gases venenosos.

3.3.4 Mezclador gas - aire

La alimentación en el motor de explosión se efectúa después de la mezcla con aire.



10	DESCARGUE AL TOSTADOR.
9	VALVULA DE DESVIO.
8	GENERADOR ELECTRICO.
7	MOTOR.
6	COLECTOR ASPIRACION MOTOR.
5	MEZCLADOR GAS-AIRE.
4	FILTRO A MANGA.
3	ENFRIADOR.
2	CICLON DESPOLVOREADOR.
1	GASIFICADOR.
Pbs	LEYENDA.

CESEN ESQUEMA DE LA PLANTA DE GASIFICACION DE 80 KW

El regulador de potencia del motor está provisto de un dispositivo de mando mecánico que actúa la válvula de mariposa para reglaje del flujo de gas mezclado a los cilindros.

El aire entra en el mezclador a través de un tubo con válvula calibrable manualmente según la cantidad de gas producido en el gasógeno que puede variar según la cantidad de biomasa utilizada.

Durante el funcionamiento normal, el motor aspira directamente el gas combustible mezclado con aire. Solo en la fase de arranque, necesita encender el gasógeno utilizando un ventilador de aspiración y una llama que permite quemar el gas producido y eliminar el aire de las tuberías.

3.3.5 Grupo motor - alternador

La sección de conversión de la energía está constituida por un motor de combustión interna (ciclo Otto). El gas producido mediante gasógeno y encaminado al motor es gas pobre con unos 4.600 kJ/Nm^3 (1.100 Kcal/Nm^3).

El motor alcanza una potencia máxima de unos 90 kW mecánicos.

El sistema de reglaje electrónico del motor mantiene la velocidad de rotación del motor constante a un nivel de 1.800 v/m actuando oportunamente la válvula de mariposa del carburador - alimentador.

El motor está acoplado mediante junta flexible a un alternador trifásico de 100 kVA.

3.3.6 Sistema doble gasogeno - motor - alternador

La planta de gasificación prevee un sistema doble de gasificación, con funcionamiento en paralelo, y un grupo motor-alternador de 80 kW eléctricos.

3.3.7 Grupo electrógeno diesel auxiliar

Para asegurar el arranque de la planta, es indispensable una fuente auxiliar de energía. A este fin, se instalará un grupo electrógeno de 5 kW.

3.3.8 Reglaje e instrumentación

Las variables más importantes que necesita regular en el sistema de producción de la energía son la velocidad de rotación de los motores generadores, la potencia producida y la tensión.

Las primeras dos variables están íntimamente conectadas entre ellas en cuanto a que el aumento de la potencia requerida por la red reduce las vueltas del motor y viceversa. El sistema de reglaje percibe la reducción de vueltas y aumenta la alimentación del combustible hasta restablecer la velocidad de rotación a su valor nominal.

El valor de la tensión se mantiene constante por medio de un regulador de tensión que actúa sobre la corriente de excitación.

Para que el operador pueda controlar el correcto funcionamiento de la planta se instalarán:

- sobre el gasificador: manómetros para comprobar las condiciones de limpieza del gasógeno y de los filtros; termómetro para medir la temperatura del gas producido.