



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

15680

Distr. RESERVADA
June 1986

Desarrollo de Tecnologías para el uso energético de la biomasa

DP/PAR/83/010

REPUBLICA PARAGUAY

Informe técnico*

Sobre la gasificación de carbones vegetales

(21/2 - 7/3/1986)

Preparado para el Gobierno de la República Paraguay por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial actuando como organismo de ejecución del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Basado en el trabajo de Mario Oscar Cencig, experto en gasificación de madera

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

Viena

* El presente documento es traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

RESUMEN

En este informe son descriptas las actividades desarrolladas por el autor en la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ) de la Universidad Nacional de Asunción, durante el período de 21 de febrero a 7 de marzo de 1986.

En esta primera fase de la misión encomendada como experto en gasificación en el marco del Proyecto PAR 83/010 de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU^{DI}), fue realizado el montaje de un conjunto gasificador-motor-generador en los laboratorios de la FCQ a cargo de la Ing. Edelira Velazquez, así como el inicio de su operación, la implementación de una parte de los equipos auxiliares, la realización de experiencias y la discusión de rutinas de operación para el trabajo posterior.

INDICE

Sinopsis

1. Montaje del sistema
2. Instrumentación
3. Operación
4. Rutinas de trabajo
 - 4a. Características del carbón
 - 4b. Purificación del gas generado
 - 4c. Gas generado
 - 4d. Líquidos
 - 4e. Residuo sólido
 - 4f. Mantenimiento
5. Trabajo futuro

Apéndice

SINOPSIS

Son enumeradas a seguir, en forma resumida, las actividades desarrolladas en esta primera fase:

- 1) Fue hecho el montaje del grupo gasificador-motor-generator de 25 kVA.
- 2) Fue completada la primera etapa de la instrumentación de los equipos auxiliares necesarios a la realización de experiencias.
- 3) Fue iniciada la operación del conjunto gasificador-motor, con vistas a la familiarización con el mismo del personal, y a observar el comportamiento de los distintos componentes en una operación continuada.
- 4) Fue discutida la rutina de trabajo para la realización de las futuras experiencias, determinando los parámetros significativos a ser controlados, la complementación de la instrumentación y los métodos de análisis. Fue elaborado un modelo de "planilla de operación".
- 5) Inicio de la colecta de muestras de sólidos y líquidos producidos en las experiencias realizadas. Técnicas de muestreo y de preparación de muestras para el análisis del carbón vegetal.
- 6) Breve participación en el desarrollo de las experiencias de biodigestión conducidas por la Ing. Licie Samaniego en los laboratorios de la FCQ.

A seguir serán detallados los aspectos más significativos de las cuestiones enunciadas.

1. MONTAJE

La idea es producir la gasificación del carbón vegetal a fin de generar un gas combustible que pueda ser alimentado en un motor de combustión interna.

Un carbón vegetal es un material compuesto esencialmente de carbono (C), de hidrógeno (H) y de oxígeno (O), con cantidades menores de otros elementos (N, S) y minerales diversos.

La oxidación (o combustión) de este material en una atmósfera deficiente en oxígeno no es completa, y produce entonces CO e H₂ en lugar de CO₂ y H₂O :



dependiendo las cantidades producidas tanto del material de partida como de las condiciones en que es realizada la gasificación.

Si ese gas es alimentado al carburador de un motor, se mezcla con el aire y llega a los cilindros donde reacciona:



El esquema del sistema, en este caso, está mostrado en la *Figura 1*, donde el propio vacío generado por el funcionamiento del motor es el que provoca la circulación de aire a través del gasificador y la consiguiente gasificación del carbón vegetal.

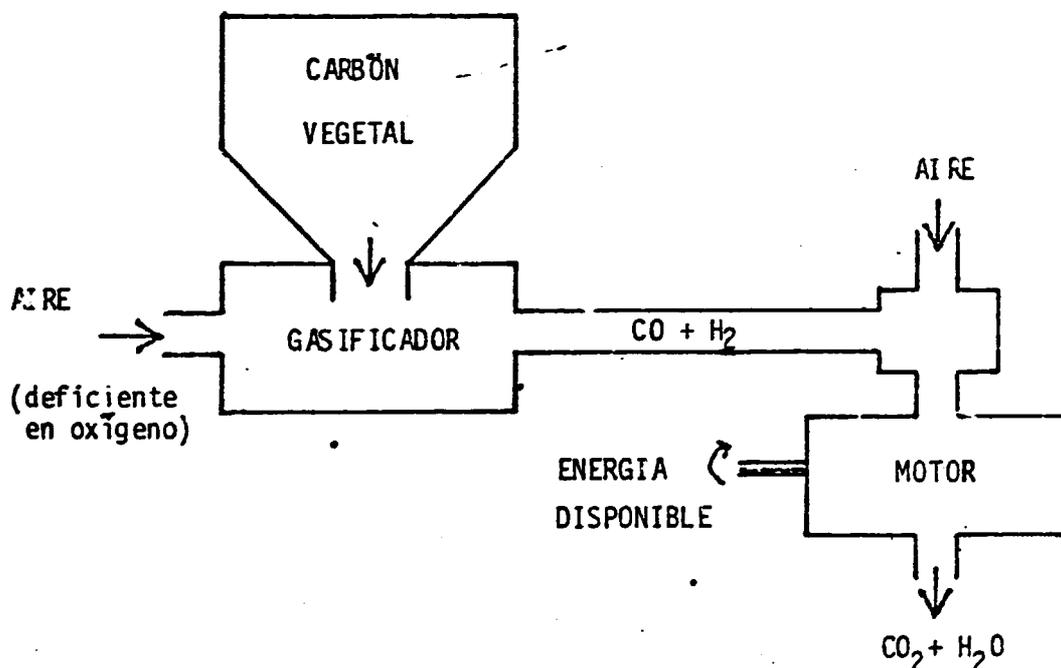


Figura 1 : Esquema del sistema gasificador-motor.

El montaje de estos componentes fue realizado en los laboratorios de la FCQ, mostrando el personal técnico participante una gran capacidad en la solución de los problemas encontrados.

2. INSTRUMENTACIÓN

En esta primera etapa fueron colocados: un manómetro absoluto para la

medición del vacío en el sistema de alimentación de gas combustible; un manómetro diferencial para la medición de la caída de presión en el filtro; una válvula de muestreo para la extracción del gas combustible generado con vistas a la medición de su composición; una válvula para la extracción del líquido condensado; una escala para la calibración del aire alimentado al carburador; y una escala para la medición de la cantidad vaporizada del agua de enfriamiento del pico del gasificador. Fue instalada también una bomba mecánica de vacío para extraer muestras gaseosas.

3. OPERACIÓN

Fueron realizadas, en forma controlada, cuatro experiencias de gasificación con un carbón comercial y funcionamiento del motor, en un total de 4 horas de operación.

Fueron variables relativamente controladas en estas experiencias la alimentación de aire al carburador (o sea, la relación aire/gas combustible) y la introducción de vapor en el gasificador, siendo una variable no controlada la calidad del carbón vegetal utilizado (en particular, su contenido de humedad y volátiles).

En la primera experiencia se observó la existencia de una cantidad apreciable de líquido (de fuerte olor agresivo, proveniente de compuestos orgánicos aromáticos mezclados con el agua), no observado en las experiencias siguientes. La conclusión es de un alto contenido de humedad en el carbón utilizado, el cual fue secándose en el interior del propio gasificador durante su operación posterior.

Se observó, *mas ¿ tanto cual?* si mismo, que la introducción del vapor en el gasificador tiene por efecto un aumento de la rotación del motor así como un funcionamiento más "regular" del mismo, interpretado como debido a una mayor concentración de hidrógeno en el gas generado ($H_2O + C \rightarrow H_2 + CO$).

Como problemas encontrados, y solucionados, podemos mencionar: el "emperramiento" del regulador de rotaciones que controla la mariposa del acelerador, y el goteo de líquido por las roscas del cierre inferior del intercambiador de calor (lo que implicaba la posibilidad de una entrada no controlada de aire, mezclándose con el gas combustible).

En el "cenizero" del gasificador fue recogido un sólido negro con partículas claras, finamente dividido, y que probablemente es carbón vegetal en polvo que fue neumáticamente transportado por la corriente de gas; posterior

análisis del mismo clarificará esta cuestión.

La tabla siguiente resume los valores medios de los diferentes parámetros en las experiencias realizadas.

Tabla 1 : Resumen de las experiencias realizadas.

Tiempo de operación	1 hora
Rotación del motor (1)	1800 (\pm 200) RPM
Temperatura del agua (motor)	72 (\pm 2) °C
Caída de presión en el filtro	4-5 mm de columna de agua
Vacío en la tubulación (2)	4,5 (\pm 0,5) cm "
Consumo de carbón (3)	10 (\pm 5) kg/hora
Vaporización del agua de refrigeración	0,7 (\pm 0,1) mm/minuto

NOTAS:

- (1) la precisión del medidor existente no es muy grande,
- (2) este valor está relacionado con la rotación del motor y es, de hecho, un medidor bastante sensible de la misma,
- (3) este valor es aproximado, y válido para el carbón que está siendo usado en este momento.

Fue testado el sistema para extraer muestras del gas combustible con la bomba mecánica de vacío. El gas, de fuerte olor, fue recogido en un recipiente por desplazamiento de una columna de agua, y quemado con llama color azul; el flujo de aspiración del mismo puede ser regulado con la válvula globo instalada, y su accionamiento no interfiere con el funcionamiento del motor.

4. RUTINAS DE TRABAJO

Para la evaluación de la operación continua y la realización de experiencias con este montaje fueron definidas como importantes, en esta primera fase, las siguientes variables:

- características físico-químicas del carbón vegetal utilizado,
- flujo del gas producido,
- composición del gas producido,
- relación aire/gas combustible,
- caída de presión en el filtro,
- cantidad de líquidos condensados,

Handwritten signature: Absolutamente
Handwritten signature: Juan Antonio

- cantidad y características del residuo sólido,
- RPM del motor,
- cantidad de carbón consumido,
- tiempo de operación.

Así, fue elaborado un modelo de "Planilla" (ver apéndice) para registrar estas variables significativas durante la operación. El objetivo de los trabajos ya comenzados y a ser realizados es detallado a continuación, siempre con un doble objetivo: "infraestructura-entrenamiento" y "datos".

4a. CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN

Consiste en la determinación de los porcentajes de humedad, de volátiles y de cenizas (análisis inmediato, "proximate" en inglés), y de carbono e hidrógeno (análisis elemental, "ultimate" en inglés), así como de la granulometría y, eventualmente, del poder calorífico. Conseguiríase, entonces, tanto caracterizar el material utilizado, correlacionándolo con el desempeño del gasificador y del motor, como también establecer una infraestructura analítica en los laboratorios de la FCQ.

Es importante notar la aparición de problemas en la regularidad del funcionamiento del motor atribuidas a la heterogeneidad del carbón utilizado, en particular su contenido de humedad y de volátiles, ciertamente producto de procesos de carbonización no suficientemente controlados en la fabricación del mismo. Fue comenzado el trabajo con las técnicas de muestreo y de preparación de muestras para el análisis.

4b. PURIFICACIÓN DEL GAS GENERADO

Este es un aspecto de gran interés, sobre todo en el caso de la gasificación de maderas.

El sistema actual consiste en: "cenizero" y ciclón (para eliminar partículas), intercambiador de calor (para enfriar el gas, y donde condensan líquidos), y filtro (para retener las partículas más finas de carbón y/o los productos más densos, "alquitranes", que podrían condensar).

Esto porque, si bien el objetivo pretendido en la gasificación es maximizar la fracción gaseosa combustible y minimizar las fracciones líquida y sólida residual, es necesario pensar un procedimiento que impida la llegada al motor de estos componentes indeseables.

4c. GAS GENERADO

En este ítem es importante determinar: flujo (o cantidad) y composición, así como la relación (aire/gas) con que se alimenta al carburador.

Para tanto es necesario contar con un rotámetro y un analizador de gases. Ya fue diseñado el montaje para el rotámetro, a ser adquirido próximamente. El análisis del gas combustible puede ser hecho con un cromatógrafo de gas o con un analizador Orsat; el primero es más sensible y es un equipo de gran importancia en un laboratorio de investigación y/o analítico, en cuanto que el segundo no es tan eficiente pero es más barato.

4d. LÍQUIDOS

En un proceso de gasificación eficiente debería obtenerse, tal como fue indicado en la Sección I de este trabajo, un gas combustible formado esencialmente por CO e H₂ (junto con N₂ proveniente del aire).

Entretanto, los carbones vegetales son materiales complejos y se producen, por efecto de la temperatura, reacciones de pirólisis, lo cual da origen a toda una gama de compuestos diferentes: CO₂, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, compuestos de azufre y de nitrógeno, que disminuyen el rendimiento en CO e H₂ y traen el riesgo de polución.

En particular, los hidrocarburos aromáticos (benceno, etc.) son líquidos en condiciones normales de temperatura y presión, y condensan junto con el agua (proveniente de la humedad del carbón o del vapor inyectado) al enfriar, y deben ser retirados de la corriente gaseosa antes de entrar al carburador.

La eficiencia de los filtros es una cuestión que debe ser estudiada con cuidado, y que se torna más importante en la perspectiva de gasificar maderas, una vez que es mayor la posibilidad de producción de líquidos más pesados (o alquitranes en casos extremos). Las cantidades producidas pueden ser bajas pero el efecto es acumulativo a lo largo de las horas de operación de los equipos.

4e. RESIDUO SÓLIDO

El "cenizero", el ciclón y el filtro de papel cumplen las funciones de retener las partículas sólidas a fin de evitar que lleguen al motor.

En una gasificación completa, el residuo sólido debería estar constituido únicamente de las cenizas provenientes de los minerales, después de la destrucción de la materia orgánica.

Entretanto, una gasificación incompleta (sea por pirólisis, sea por arrastre neumático de las partículas más finas) del carbón va a producir un sólido que todavía contiene materia orgánica posible de ser gasificada, lo que quiere decir que el rendimiento (entendido como cantidad de gas combustible generado por kg de carbón consumido) disminuye.

El análisis inmediato y elemental del residuo sólido va a clarificar esta cuestión, así como también la posibilidad de haber condensación de alquitrán en el filtro de papel (esto es particularmente importante en el estudio de la gasificación de maderas).

4f. MANTENIMIENTO

Fueron establecidas una serie de operaciones pre y pos funcionamiento :

- a) Verificación del estado del carbón (en especial la humedad) y recarga hasta un nivel prefijado del depósito del gasificador, antes de cada experiencia,
- b) recarga del depósito de agua de enfriamiento del pico del gasificador antes de cada experiencia,
- c) limpieza del "cenizero", del ciclón y del filtro, después de cada experiencia, recogiendo y pesando (por separado) los sólidos colectados,
- d) colecta y pesada del líquido condensado después de cada experiencia.

5. TRABAJO FUTURO

* Completar la instrumentación, en especial la instalación del rotámetro para medir el flujo de gas combustible generado. Evaluar la posibilidad de instalación de termocuplas para medir temperaturas en diferentes puntos de este sistema. Conectar el generador eléctrico a la red externa.

* Poner a punto las técnicas de caracterización del carbón y de análisis del gas combustible: compra e instalación de equipos, y entrenamiento del personal técnico.

* Realización de experiencias sistemáticas para acumular datos sobre el funcionamiento del gasificador.

* Comenzar a experimentar la gasificación de maderas. En este ítem, está prevista su introducción gradual, en forma de "mezclas" con el carbón vegetal, hasta llegar a operar el gasificador solamente con madera; esto será hecho en la medida en que avance el control de todas las variables a lo largo de la realización de las experiencias programadas, y sean efectuadas las modifica-

ciones correspondientes.

* Montar y operar el gasificador en una camioneta (unidad móvil), con las mismas consideraciones hechas en el caso del equipo estacionario descritas en este informe.

* * * *

Copias distribuidas:

Ing. Edelira Velazquez (FCQ/Universidad Nacional de Asunción)

Dr. Renán Fuentealba (PNUD/Asunción)

Dr. Luis Soto-Krebs (SIDFA/ONUDI/Brasilia)

APENDICE
Modelo de Planilla

EXPERIENCIA #

FECHA: / /

CARBON: kg RESIDUO: g

-
- % humedad
- % volátiles
- % cenizas
- % carbono
- % hidrógeno
- granulometria (mm)
- poder calorifico (kcal/kg)
-

Tiempo de operación : minutos

GAS GENERADO

Determinación		1	2	3	4	5	6
Composición (% en volumen)	N						
	CO						
	H						
	O						
	CO						
	CH						
	otros						

Flujo de gas : m³/hora Relación GAS/AIRE
 Aire alimentado : m³/hora (v/v):
 ΔP en el filtro : mm (c.a.)
 ΔP en el motor : cm (c.a.)
 Rotación del motor : RPM

LIQUIDOS CONDENSADOS
 Intercambiador : kg
 Filtro : kg

 • kg