

# GENERACIÓN DE BIOGÁS POR LOS EFLUENTES

de plantas de beneficio y su aplicación

## BIOGAS GENERATION FROM POME

and its Application

### AUTOR



**Noel Wambeck**

Consultor  
Perunding Ame Sdn Bhd  
Malasia  
ame\_sv@streamyx.com

### Palabras CLAVE

Generación de biogás,  
efluentes, plantas de beneficio,  
digestión anaeróbica.

Efluents, biogas generation,  
anaerobic digestion,  
palm oil mills

Editado por Fedepalma.

### RESUMEN



El artículo da una breve visión de la implementación de un proyecto de generación de biogás a través del proceso de digestión anaeróbica de los efluentes de plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite. Luego se especifica el uso del biogás como combustible para alimentar una micro turbina para generar energía o para ser usado en la caldera usando el exceso de biogás. El proyecto fue registrado con UNDP/GEF para venta de certificados de carbón. El objetivo para el programa de generación de biogás proveniente del tratamiento de los efluentes y su programa de aplicación es reducir la emisión metano en la atmósfera. Esto es un proyecto viable con muchos beneficios para ser considerados. Desarrollos técnicos adicionales en el tratamiento de los efluentes y en las plantas de generación de biogás podrían probablemente conducir a la fabricación de plantas que requieran más bajo capital asegurando los mejores resultados posibles en la producción de energía.

### SUMMARY

A brief overview for the implementation of a biogas project and the process of POME (Palm Oil Mill Effluent) anaerobic digestion Treatment for Biogas generation. Further the use of biogas as fuel fed to a micro gas turbine to generate power including the firing of the steam boiler with the excess biogas. The project is registered with UNDP / GEF for the sale of carbon credit. Objective for the biogas generation from POME and its application programme is to reduce the emission of carbon gas (Methane from POME) into the atmosphere. A viable project with several benefits for consideration. Further technical developments in the POME treatment and biogas generation plants would probably aim at producing plants requiring lower capital outlay while ensuring the best possible energy yields.

Voy a comenzar con la revisión de un proyecto que implementé recientemente. Se trata de un proyecto de biogás realizado en un grupo grande de plantaciones en Malasia, 23 plantas de beneficio; en ese país se habían implementado antes algunos otros proyectos de biogás. A pesar de toda la información o todos los datos que se recogieron de esas plantas, el proyecto nunca llegó ni a la mitad y fue abandonado.

El director de Ingenierías me preguntó si yo podría poner una especie de prototipo con todas las medidas, con todos los instrumentos y con todas las sugerencias de los colegas del laboratorio, de manera que se pudiera construir una planta de extracción que, por supuesto, es un proyecto sumamente costoso.

La idea era generar un proyecto completo para controlar, monitorear y producir datos que iban a ser los suficientemente inteligentes como para poder construir una planta verdaderamente comercial de biogás. El proyecto está registrado con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; después de un tiempo pensamos que la información ya había sido validada para su consideración, porque tiene que ser aprobada por el gobierno para que sea un proyecto verdaderamente certificado. Se produjo un escrito como UNDP/GEF, con el gobierno, para buscar un crédito sobre una base fija, con el fin de realizarlo, pues parecía bastante atractivo, como quiera que la tasa interna de retorno indicaba que el crédito podría repagarse en un período comprendido entre ocho y nueve años; se habló del elemento MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) y la respuesta fue que el proyecto no era viable y les voy a mostrar por qué.

El mismo tenía otros beneficios, por supuesto representados en lo que significa desde el punto de vista social producir un gas utilizable para la generación de energía; además estaba previsto purificarlo y licuificarlo con el fin de utilizarlo como gas en la cocina; en otras palabras, se pretendía contribuir al uso doméstico, lo cual constituía uno de los elementos que consideran organismos como el PNUD.

El primer propósito de la construcción de un prototipo es descubrir en dónde estamos. La planta de energía propuesta está localizada en una planta de extracción existente, la metodología que se utilizó en el proyecto consiste básicamente en hacer la ingeniería conceptual; de otro lado, la búsqueda de financiación

internacional resultaba indispensable para llevar a cabo con éxito un proceso de diseño de digestores, que incluía la verificación del gas a utilizar, el mismo que alimentaría microturbinas que permitirían disponer de energía continua; los excedentes serían utilizados como combustible de las calderas y se mediría esta fusión de naturaleza complementaria de los turbocombustibles.

El proceso simple se puede seguir en la planta de biogás, para la cual se partió del diseño propuesto, que consiste en una planta extractora existente en la Isla de Cady. El cronograma de implementación es de ocho meses y el objetivo era que en el mes de noviembre estaría funcionando.

Para el efecto se requirió un informe de impacto ambiental, donde se reportó qué es lo que se pretende realizar y monitorearlo. La idea es extraer 50 toneladas por cada 1.000 de materia prima y generar 160 kilovatios, 415 voltios 50 hz.

Un objetivo importante es que cualquiera de esas plantas de extracción o plantas de energía renovable o de energía de residuos, es que ellas estén conectadas a cualquier sistema de red, cualquier sistema de energía nacional que garantice que la planta puede correr permanentemente, sin parar, durante 8.000 horas; de modo que las 8.000 horas son un prerrequisito básico para poder hacer un programa real de energía del cual hace parte el biogás.

Para un volumen de biomasa de 25 m<sup>3</sup> por tonelada, se requiere una producción de biomasa de 750 m<sup>3</sup> por hora para generar un total de 19.230 kilojulios por m<sup>3</sup> de biogás, como se puede ver en la Tabla 1. Todas las cifras allí escritas corresponden al diseño académico de la planta.

**Tabla 1.** Datos técnicos del proyecto

|  |                    |
|--|--------------------|
| Biogás m <sup>3</sup> / tm de efluente | 25 m <sup>3</sup>  |
| Generación de biogás por hora          | 750 m <sup>3</sup> |
| kJ por m <sup>3</sup> biogás           | 19,230 kJ          |
| kJ por m <sup>3</sup> efluente         | 57,690             |
| Energía térmica equivalente            | 5840 kWh           |
| Descarga final efluente - DBO          | 1000 DBO           |
| pH                                     | 7 - 8              |
| Sólidos volátiles totales              | 1000 mg / l        |
| Nitrógeno amoniacal                    | 200 mg / l         |
| Nitrógeno Total                        | 400 mg / l         |
| Inversión / Costo proyecto             | RM 4 Millones      |



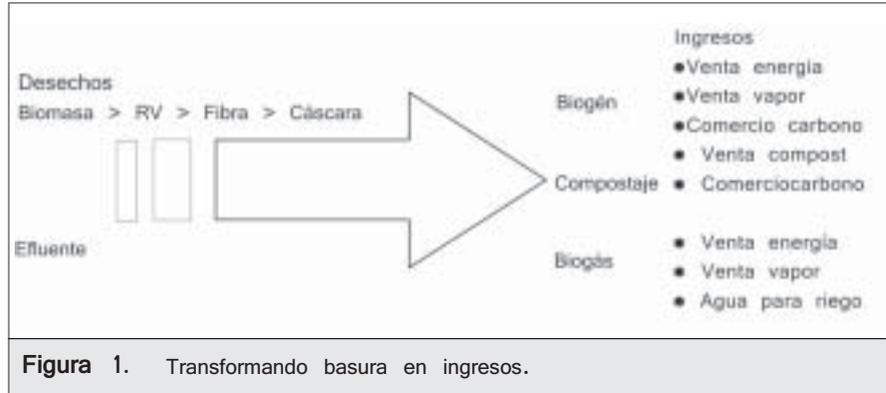
Vale la pena precisar los objetivos de la planta de biogás:

1. Reducir las emisiones a la atmósfera de gas de carbón, es decir el metano de POME (Palm Oil Mill Effluent).
2. Cumplir el Plan 9 de Malasia y lograr la conformidad con los objetivos del Protocolo de Kyoto con miras a la creación de un medio ambiente más limpio y saludable, al tiempo que se logra un desarrollo sostenible.
3. Estimular el desarrollo de Pequeños Programas de Energía Renovable (SREP por sus siglas en inglés) mediante el uso de basura orgánica convertible en energía útil; estos programas cuentan con la financiación del PNQID, prevista hasta el año 2008, lo que significa que es muy tarde para quedar incluido dentro de ese plan de financiamiento.
4. Reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
5. Crear oportunidades de negocio aguas abajo orientadas a sostener el crecimiento industrial.

La Figura 1 ilustra cómo la basura puede transformarse en ingresos, en ganancias. El input lo constituyen los residuos de racimos vacíos, las fibras y las cáscaras, además del POME, que una vez transformados por la planta en biogén, compost y biogás, se convierten en fuentes de ingresos al venderlos como energía, calor, etc,

El proyecto es viable para ser considerado desde el punto de vista comercial; es amigable con el medio ambiente y tiene ventajas económicas; integra el manejo de los desperdicios con la planta de tratamiento, genera ingresos mediante el aprovechamiento de negocios aguas abajo; se le asocian incentivos tributarios como el apoyo gubernamental, en Malasia estos proyectos se exoneran de impuestos por un período de 21 años; es un valor agregado a la programas MDL, con lo cual se cumplen los requerimientos del Departamento del Medio Ambiente.

Veamos ahora qué es lo que se hace con los residuos POME. En este ejercicio se depositan en lagunas y se espera que se biodegraden después de un cierto



período de tiempo (Foto1). En la actualidad esto causa problemas con los vecinos; en realidad, hace muchos años las plantas estaban construidas lejos de las ciudades; sin embargo, ha habido tanto desarrollo en nuestro país, que las ciudades han llegado hasta las plantas extractoras, y consecuentemente mucha gente se queja de los olores, de que es malo para el medio ambiente; por ello, desde 2005 el gobierno estableció metas de reducción del impacto ambiental.

Sin embargo, la propagación de las enzimas que se manifiestan en la degradación se constituyen en variables que salen de las operaciones de extracción, subdilución, sobredilución, sobrecalentamiento, etc. y ello ha llevado a concluir que antes de comenzar con el siguiente procedimiento, es necesario solucionar urgentemente muchos problemas que van de la mano con la forma como se están haciendo las cosas ahora, porque de lo contrario se tendría que empezar a cerrar plantas en los próximos seis meses.

Por lo pronto, se escogió la forma anaeróbica que, como se observa en la Foto 2, comprenden tanques que se deben cubrir con tapas selladas para recoger



**Foto 1.** Los efluentes de la planta de beneficio son usados en lagunas, tanques de digestores, aplicación en el campo, compostaje y vías de agua.



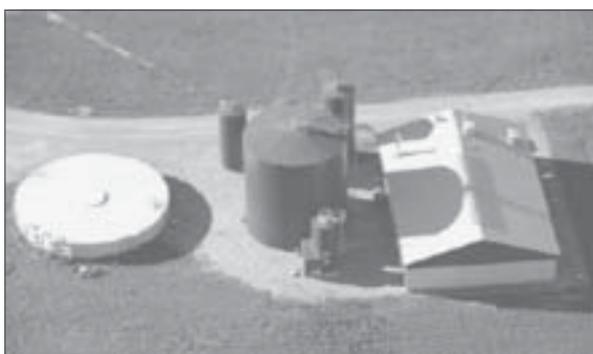
**Foto 2.** La digestión anaeróbica de POME produce metano.

biogás. El metano actualmente se emite a la atmósfera generado en estanques o tanques abiertos, arrojando como resultado un gas GHG, cuyo efecto, de acuerdo con las mediciones hechas por los físicos, es 21 veces superior al del CO<sub>2</sub>.

Una vez finalizado el trabajo en curso, se tendrían plantas modernas de generación de energía como la que se aprecia en la Foto 3.

Es pertinente explicar el significado de MDL, es decir, el Mecanismo de Desarrollo Limpio, porque juega un papel importante en la viabilidad de este proyecto; se trata de un mecanismo establecido bajo el Protocolo de Kyoto, entre cuyas disposiciones ordena que aquellos países desarrollados que lo han suscrito, deben formar parte en los programas orientados a la mitigación de las emisiones de gases, y prevé un mecanismo para que los países que no lo han suscrito (como por ejemplo Malasia), formen parte en el establecimiento de un desarrollo sostenible.

Los objetivos del MDL son:



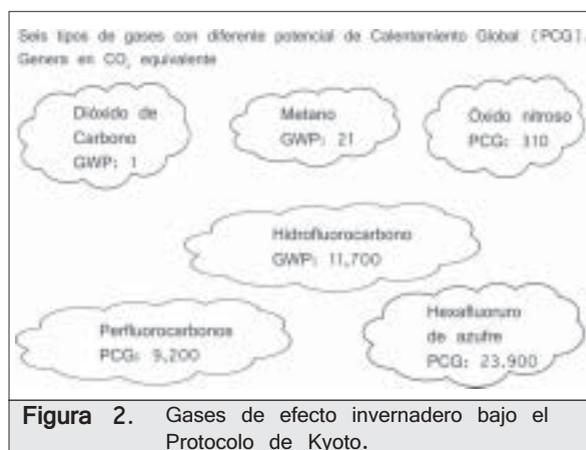
**Foto 3.** Planta moderna de generación de energía con biogás.

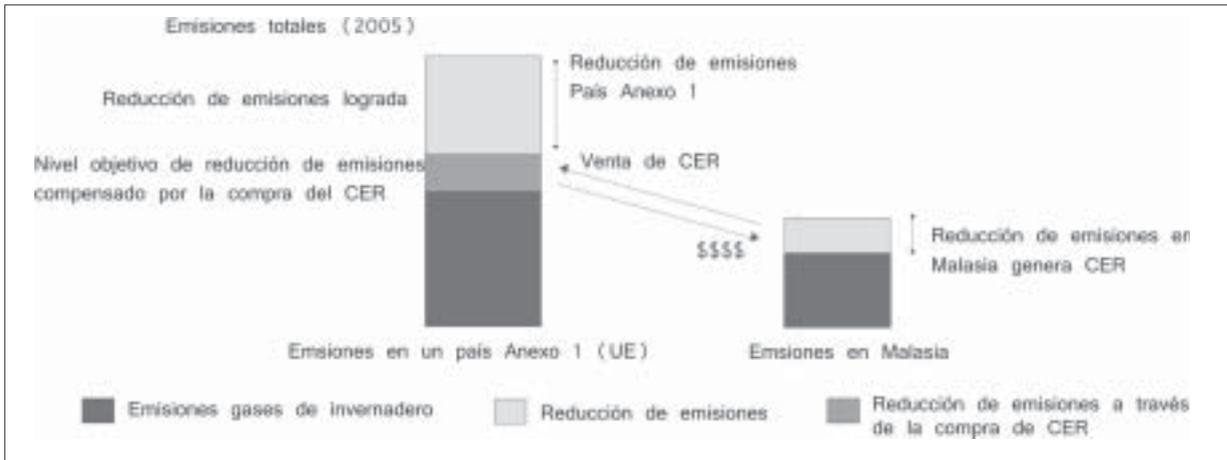
1. Apoyar a los países suscriptores a lograr sus compromisos de reducción a costos más bajos.
2. Ofrecer a esos países la flexibilidad que les permitan lograr las metas de reducción permitiéndoles comprar créditos de carbono.

Como se muestra en la Figura 2, son seis las clases de gases establecidas en el Protocolo de Kyoto para el efecto invernadero, los mismos que comúnmente se expresan en equivalente de CO<sub>2</sub>, y de los cuales acá sólo se hará referencia al metano.

La Figura 3 ilustra el funcionamiento del MDL. Allí se expresa de manera simple con el fin de que los legos en el tema lo comprendan mejor. Lo que ocurre es que los países desarrollados tienen la obligación de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, objetivo con el que deben cumplir anualmente a una tasa entre el 2 y el 3%; en todo caso, si este fuera el objetivo, desde nuestro punto de vista es muy difícil así que Malasia lo logre, siendo uno de los países que está en una posición positiva; como se observa, en el país asiático es relativamente importante el porcentaje de reducción de emisiones a la que se puede llegar fácilmente, únicamente mediante actividades como sacar la basura y biodegradarla, recoger los gases, los que nadie quiere y utilizarlos en las calderas o en las turbinas; y cuando ello sucede, se recibe un pago, un crédito en dinero de los gobiernos para hacerlo; esa es básicamente la forma como funciona el sistema.

En cuanto al impacto MDL a nivel del proyecto, es necesario advertir que para poder calificar para MDL se requiere que el proyecto esté en el límite; a los gobiernos les gusta que se les ruegue por el dinero,

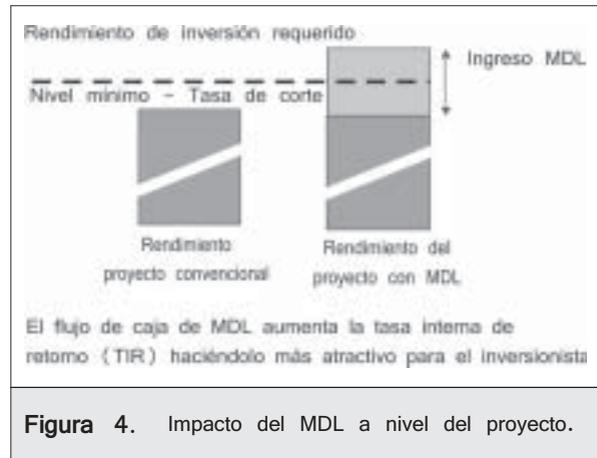




**Figura 3.** Así funciona el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

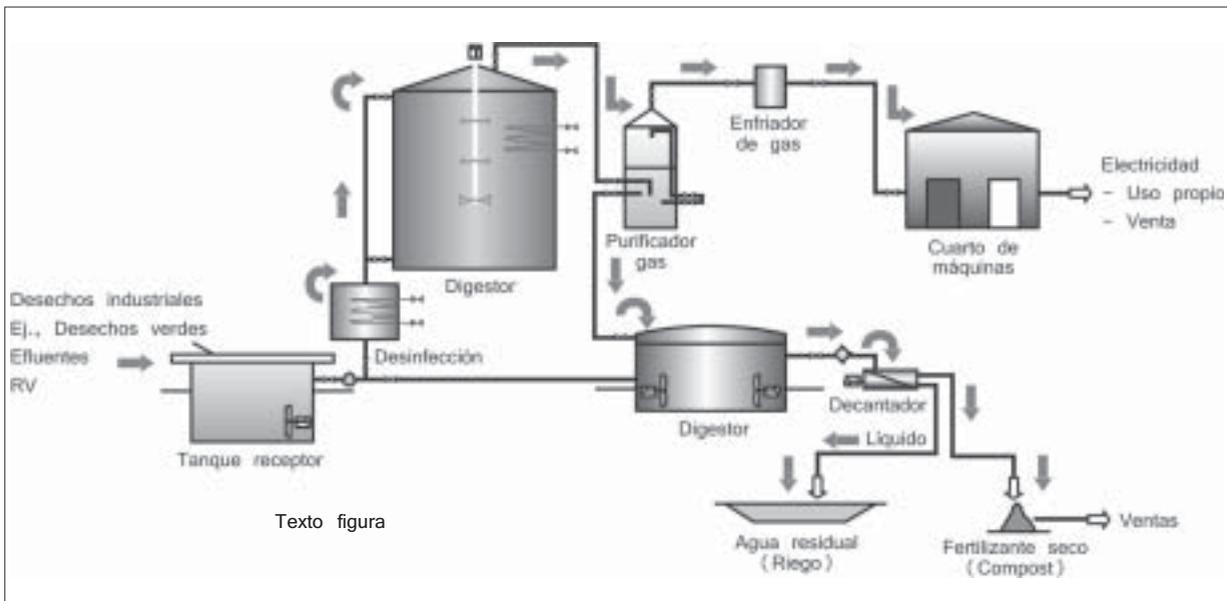
para lo cual tienen que presentarse las cifras sin perderlo de vista, porque en caso contrario no paga, no funciona.

De modo que el MDL califica la sostenibilidad del proyecto y ello permite ayudar a los países pobres en desarrollo a hacer algo al respecto, entonces se puede disponer de los fondos de MDL, así que los interesados deben verse como se muestra en la Figura 4, esa es la razón por la cual se presenta esta ilustración, el umbral, la tasa, ese poquito adicional les ayuda a ver el proyecto más grande y esto hace que califique para MDL.



**Figura 4.** Impacto del MDL a nivel del proyecto.

En la Figura 5 se detalla la planta de biomasa.



**Figura 5.** Diagrama de flujo de la planta de biogás.

Se tiene la entrada del BOD al tanque de recepción y se cargan los digestores de energía; es necesario mantener la temperatura constante; las mediciones de variables como el PH y la conductividad se realiza con instrumentos; el siguiente paso es llevarlo a un filtro de agua y un amortiguador, un buffer; luego pasa a la sala de motores, de donde puede llevarse a la turbina o a la caldera y puede producir electricidad o generar vapor. Se cuenta con un digestor secundario para llevar el residuo de cualquier gas que pueda tener y saca el material sólido; la fase líquida va para el tratamiento de agua destinada a irrigación, y que se deposita en una laguna o un estanque a donde llega el agua y luego sale un líquido compuesto que se puede vender como fertilizante o se puede botar en la plantación.

De manera que lo que se tiene es un proceso muy simple, pero la clave del asunto es que haya una entrada, una alimentación constante de lo que necesitan las enzimas; no sobra advertir que la mayoría de los digestores fallan porque no tienen una alimentación continua de lo que las enzimas necesitan. Se tienen unas enzimas preseleccionadas y se utiliza un digestor secundario para cultivarlas o para mantenerlas allí con

el fin de guardarlas y, con la ayuda de las grasas del tanque, cuando quiera que se vea que el nivel de conductividad se aparta del *benchmark* o del *input* que se le puso, entonces se le agrega más grasa. Esa es la forma como se mantiene el sistema estable y en forma continua con grasa, porque si hay una variación ligera, por ejemplo en las enzimas, en la temperatura o en los digestores aeróbicos, el sistema se va a paralizar y habría que volver a comenzar, lo cual puede tomar tiempo; de manera que el tiempo que se necesita para iniciar un digestor hasta que se activa es de seis a ocho semanas antes de que se vean los resultados.

La Figura 6 muestra el balance de masa.

No se utilizan las membranas convencionales para los secadores; se han hecho pruebas y experimentos limpiando el biogás porque transporta mucho elemento condensador, y después de un par de semanas, como hay tanta condensación, choca contra los filtros y entonces todos los proyectos hechos en Malasia en los últimos 10 ó 15 años tratando de utilizar gas han fallado precisamente por esos residuos y esos sólidos; la conclusión es que el método más barato es deshumidificar el gas congelándolo con algún aire

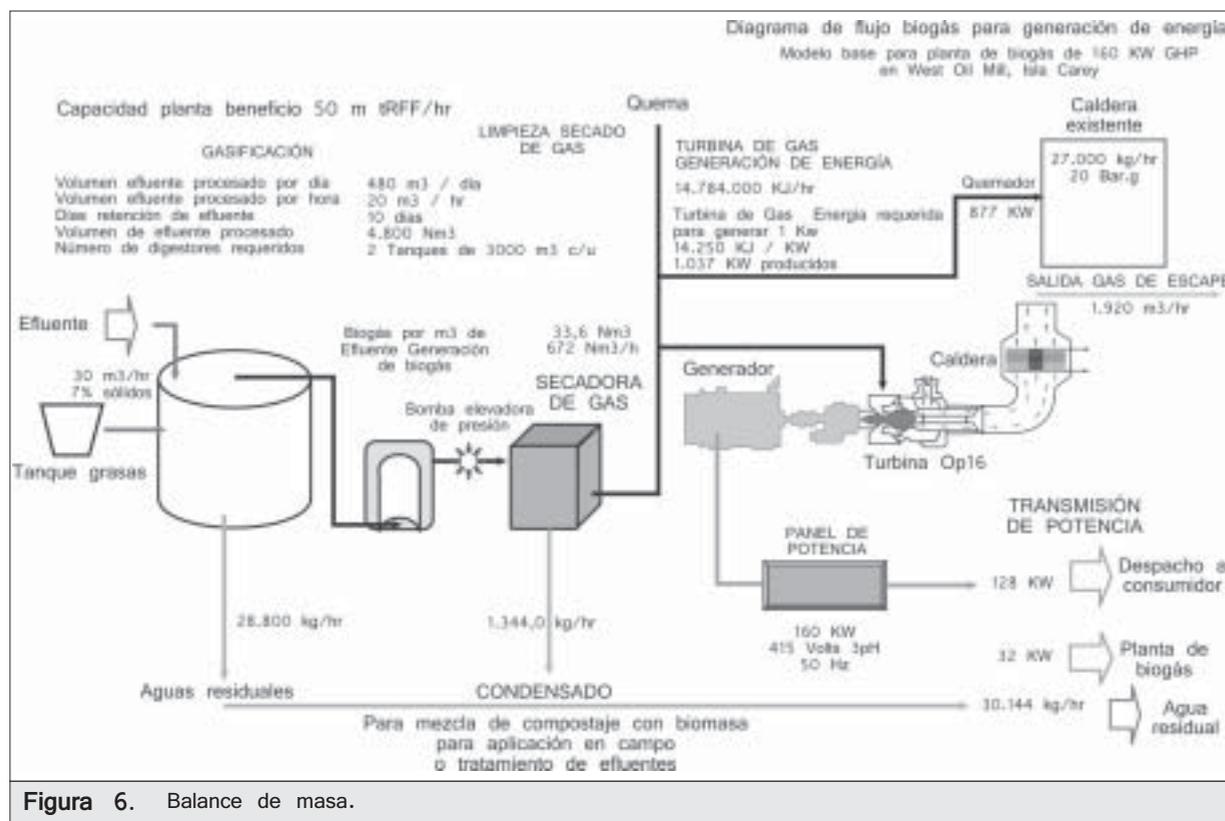


Figura 6. Balance de masa.



acondicionado antes de que el gas se utilice en la turbina o en la caldera.

La Tabla 2 es un diagrama de flujo simple.

En ese diagrama se presenta tal vez la parte más interesante. Si se lee la parte superior y si se fuera a vender únicamente energía generada por este proceso, el resultado no es nada comprado con el MDL que se lograría; con el MDL se puede generar fondos suficientes como para que haya un retorno en el pago. El costo es de US\$4 millones; más adelante se muestra cómo se invirtió ese dinero.

El costo de utilizar la energía a 20 y venderla a 25 representa un retorno de de 6,6; ello hace que ese sea un caso *borderline*, justamente para ser considerado para solicitar alguna financiación.

Por último, es del caso mostrar una tabla de costo (Tabla 3). Se va a utilizar un TG 80 -RO-G Bowman Micro Turbina de 160 kilovatios; es una turbina de gas y debe ponérsele un equipo de control para la caldera existente, con un costo de US\$300,100, equivalente a 1.170.780 en moneda malasia. La Tabla 4 presenta el costo total, un poco menos de 4 millones.

**Tabla 2.** Diagrama de flujo simple

| RESUMEN DEL PROYECTO:  |         |          |                 | Apéndice 3                     |                            |
|--|---------|----------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| Módulo financiero para proyecto de planta de energía y generación de 160 KW a partir de biogás |         |          |                 |                                |                            |
| a Ingreso Anual por venta de energía   | 975.514 | \$ 0,25  | 243.878         |                                | Agosto 30 de 2006          |
| b Ingreso anual por RCE  | 28.718  | \$ 20,00 | 574.364         | <b>Supuestos:</b>              |                            |
| c Ingreso anual total  |         | RM       | 818.242         |                                |                            |
| d Menos: Costos de producción  |         | RM       | 399.957         | 1 Tasa de interés mantenida a  | 0%                         |
| e Proyección utilidades antes de impuestos y depreciación                                      |         | RM       | 608.761         |                                |                            |
|  |         |          |                 | 2 Factor de Inflación          | 1                          |
|  |         |          |                 | 3 Deuda                        | 0%                         |
|  |         |          |                 | 4 Patrimonio                   | 100%                       |
| f Capacidad de Energía instalada   |         |          | 160 KWe         |                                |                            |
| g Producción real para la venta  |         |          | 128 KWe         | 5 Periodo cancelación préstamo | 0 Años                     |
| h Capacidad real despacho  |         |          | 975.514 kwh/Año |                                |                            |
|  |         |          |                 | 6 Tasa de interés promedio     | 0%                         |
| i TIR Proyecto (15 años)   |         |          | 12,25%          |                                |                            |
|  |         |          |                 |                                |                            |
| j Período de amortización  |         | Aprox.   | 6,6 Años        | 7 Monto del préstamo           | - (RM)                     |
| k Energía vendida a  |         |          | 0,25 kw         | 8 Patrimonio                   | 4.000.000 (RM)             |
| l Costo por KW   |         |          | 0,20 kw         |                                |                            |
|  |         |          |                 | 9 Costo combustible            | - RM/mt                    |
| m TIR accionista   |         |          | 12,26%          | 10 Costo total del proyecto    | 4.000.000 (RM)             |
|  |         |          |                 | 11 Uso de combustible (Biogás) | 672 Nm <sub>3</sub> /hr    |
| n Costo Inversión por Kw   |         | \$       | 11.111          | 12 CO <sub>2</sub> Equivalente | 28.718 m <sub>3</sub> /Año |
|  |         |          |                 | 13 días de producción por año  | 318 Días                   |
|  |         |          |                 | Implementación del proyecto    |                            |
| o Proporción despacho/Kw generados   |         |          | 0,80            | 14                             | 9 meses                    |

| Tabla 3. El costo del equipo de biogás |   |           |    |        |              |                  |             |
|--|---|-----------|----|--------|--------------|------------------|-------------|
| Item                                   | Descripción / No. catálogo                    | Proveedor | Ct | USD    | Total (USD)  | Total            | Total (MYR) |
| <b>A</b>                               | <b>Equipo de biogás</b>                       |           |    |        |              |                  |             |
| 1                                      | Microturbina Bowmna TG 80-RO-G                | Bowman UK | 2  | 93.000 | 186.000      | 186.000          | 706.800     |
| 2                                      | Capacitación seguridad de Gas                 | Bowman UK | 2  | 4.950  | 9.900        | 9.900            | 37.620      |
| 3                                      | Refrigerador aceite por chorro de aire        | Bowman UK | 2  | 4.500  | 9.000        | 9.000            | 34.200      |
| 4                                      | Interruptor doble                             | Bowman UK | 2  | 11.000 | 22.000       | 22.000           | 83.600      |
| 5                                      | Site Load Following                           | Bowman UK | 2  | 2.500  | 5.000        | 5.000            | 19.000      |
| 6                                      | Sistema monitoreo remoto                      | Bowman UK | 2  | 3.500  | 7.000        | 7.000            | 26.600      |
| 7                                      | Válvulas de purgado                           | Malasia   | 2  | 3.000  | 6.000        | 6.000            | 22.800      |
| 8                                      | Compresor de aire VO5G-RS de acero inoxidable | Malasia   | 2  | 11.100 | 22.200       | 22.000           | 84.360      |
| 9                                      | Separador de líquido/gas (Acero Inoxidable)   | Malasia   | 2  | 2.000  | 4.000        | 4.000            | 15.200      |
| 10                                     | Secadoras refrigeradas por aire               | Malasia   | 2  | 12.500 | 25.000       | 25.000           | 95.000      |
| 11                                     | Tubería de acero                              | Malasia   | 2  | 2.000  | 4.000        | 4.000            | 15.200      |
| 12                                     | Fletes  |           |    |        |              |                  | 30.400      |
|  | <b>Subtotal Bowman</b>                        |           |    |        | US\$ 300.100 | MYR 1.170.780,00 |             |

| Tabla 4. Costo total |   |           |    |     |             |                 |                  |
|----------------------|---|-----------|----|-----|-------------|-----------------|------------------|
| Item                 | Descripción/ No. Catálogo                     | Proveedor | Ct | USD | Total (USD) | Total           | Total (MYR)      |
| <b>B</b>             | <b>Costo de instalación planta biogás</b>     |           |    |     |             |                 |                  |
| 13                   | Costos preparación del sitio                  |           |    |     |             |                 | 60.000           |
| 14                   | Techos para digestores                        | 4         |    |     |             | MYR 330.000     | 1.320.000        |
| 15                   | Tubería válvulas y accesorios de acoplamiento |           |    |     |             |                 | 120.000          |
| 16                   | Instalaciones eléctricas                      |           |    |     |             |                 | 200.000          |
| 17                   | Balance de materiales de planta               |           |    |     |             |                 | 170.000          |
| 18                   | Quemador de gas                               |           |    |     |             |                 | 300.000          |
|                      | <b>Total planta de biogás</b>                 |           |    |     |             |                 | 2.170.000        |
| <b>C</b>             | <b>Trabajo eléctrico</b>                      |           |    |     |             |                 |                  |
| 19                   | Panel principal                               |           |    |     |             |                 | 88.000           |
| 20                   | Panel de sincronización                       |           |    |     |             |                 | 180.000          |
| 21                   | Cableado                                      |           |    |     |             |                 | 120.220          |
| 22                   | Tendido de cables y cables de control         |           |    |     |             |                 | 120.220          |
| 23                   | Sistema de protección contra incendio         |           |    |     |             |                 | 88.000           |
|                      | <b>Total trabajo eléctrico</b>                |           |    |     |             |                 | 656.220          |
|                      |   |           |    |     |             | <b>TOTAL RM</b> | <b>3.997.000</b> |
|                      |   |           |    |     |             | <b>Say RM</b>   | <b>4.000.000</b> |