



El biogás llegó para quedarse

Michael A. Devine
Gerente de marketing de productos de gas
Electric Power/Gas Division

Febrero de 2013

INTRODUCCIÓN

El metano generado por el digestor se ubica como un combustible renovable principal. Las tecnologías actuales de tratamiento de combustibles y grupos electrógenos hacen del biogás una fuente de energía ecológica y altamente atractiva, tanto para la generación de energía como para generar calefacción.

Hace apenas 10 o 20 años, miles de millones de pies cúbicos de metano proveniente de los rellenos sanitarios y de los digestores anaeróbicos de plantas de tratamiento de aguas residuales se quemaban y por lo tanto, se desperdiciaban. En algunos casos se realizaba algo peor: se los liberaba a la atmósfera.

Hoy en día, este biogás se ha convertido en una fuente preciada de combustible, y diversas industrias, entre otras la industria agrícola, láctea y de procesamiento de alimentos, están descubriendo el valor que posee. El potencial es importante. Como ejemplo, la EPA de EE.UU. calcula que aproximadamente 8.200 de las operaciones lácteas y porcinas del país podrían respaldar sistemas de recuperación de biogás con el potencial para generar más de 13 millones de MWh y reemplazar aproximadamente 1.670 MW de generación de combustible fósil por año.

Al mismo tiempo que usamos más biogás, también estamos produciendo más. En la actualidad, la mayoría de los rellenos sanitarios con capacidades implementadas de más de un millón de toneladas EE.UU. (1,02 toneladas métricas) de desperdicios sólidos y muchas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con capacidades que superan los 30 millones de galones por día (113.500 m³ por día) utilizan el biogás para generar energía. Cada vez hay más plantas de tratamiento de aguas residuales que incorporan materiales orgánicos a sus digestores para aumentar la producción de gas, y los digestores independientes que producen biogás a partir del abono, los desperdicios generados por los alimentos y otros productos se están teniendo mucho más en cuenta.

Este es el momento justo para que los negocios que producen grandes cantidades de desperdicios orgánicos se planteen los beneficios de transformar dichos desperdicios en combustible. El proceso es bastante sencillo, si se cuenta con la ayuda de un experto de confianza que pueda:

- calcular la cantidad de material de desperdicio disponible;
- calcular la cantidad de gas disponible;
- calcular el ingreso potencial para la energía generada con el gas disponible;
- calcular los costos de operación iniciales y aquellos a largo plazo;
- calcular el retorno de la inversión.

En aquellos casos en los que los puntos básicos son propicios, un socio financiero sólido puede ayudar a simplificar el proceso de análisis, determinar si el proyecto es factible, y de ser así, cuál sería la mejor manera de financiarlo.

EL CASO COMERCIAL

Una gran variedad de industrias pueden beneficiarse potencialmente de los proyectos de conversión de biogás en energía. Entre los productos utilizados como materia prima para los digestores anaeróbicos se incluyen el ensilaje de cultivos energéticos, como el maíz y el sorgo dulce, los residuos de cultivos, los residuos vegetales originados durante el mantenimiento de jardines y parques, los restos de alimentos provenientes de restaurantes y cafeterías, grasas y aceites, y los desperdicios de instalaciones de alimentos y bebidas como cervecerías, plantas procesadoras de azúcar, procesadores de frutas y vegetales, y plantas de procesamiento de carne. Los desperdicios de origen animal son los desperdicios que producen menos biogás, por lo que la receta puede mejorarse al sumar grasas y aceites, o material vegetal (Figura 1).

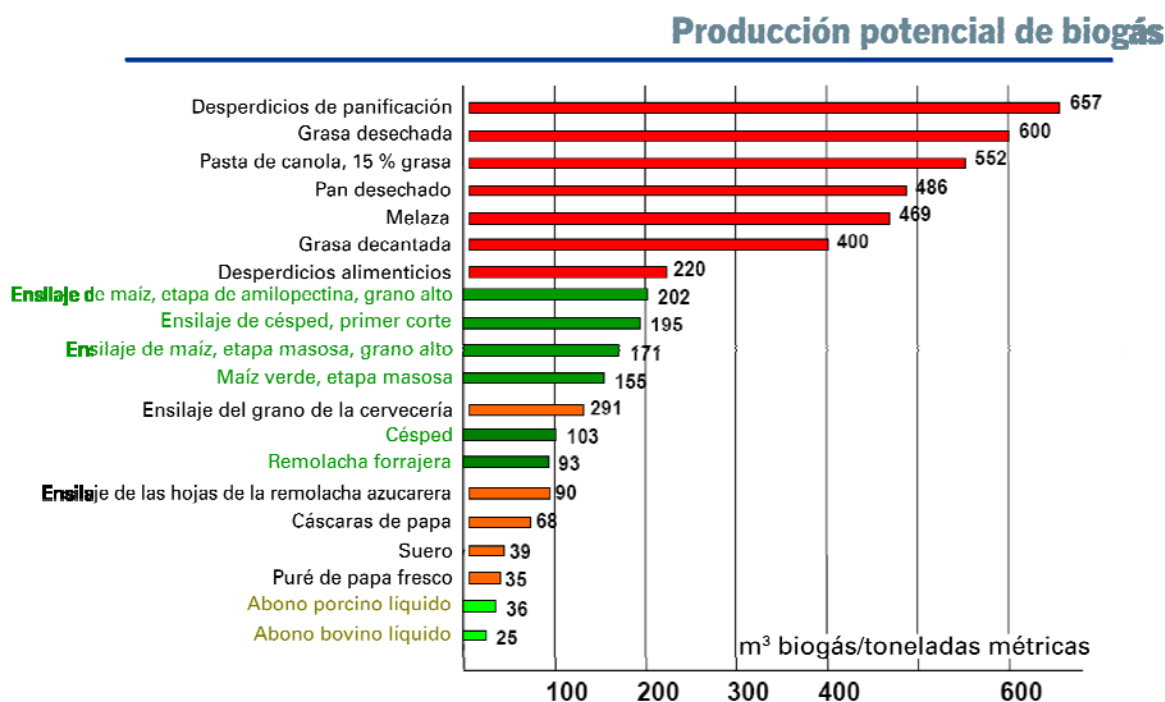


Figura 1

Ingresos

El análisis de beneficios comienza con el cálculo de los ingresos. El cálculo base supone un flujo de combustible aproximado y la calidad de combustible, y un generador de una capacidad determinada con un funcionamiento continuo de un año. Por ejemplo, un grupo electrógeno de 20 cilindros con una potencia nominal de 2.000 kW puede producir US\$112 por hora en función de un precio de venta de la electricidad de US\$0,056 por kWh. Sobre la base de 8.760 horas por año, esa unidad en teoría podría producir US\$981.120 en ingresos anuales.

De más está decir que ningún generador puede funcionar todo el día, todos los días durante un año. El cálculo del ingreso verdadero se determina por el ingreso teórico multiplicado por el factor de capacidad: el porcentaje de la salida potencial total que verdaderamente logran las unidades. Los elementos clave que afectan el factor de capacidad e ingreso son:

- **Disponibilidad.** Se pierden ingresos cada vez que el generador no funciona, lo que incluye el tiempo de inactividad para el mantenimiento y las reparaciones. Entre los períodos de no disponibilidad se incluyen los momentos en que el digestor no produce gas.
- **Factor de carga.** Se pierden ingresos si el generador no puede operar con carga plena. Esta situación puede darse si el suministro de combustible está limitado temporalmente, o si la calidad del combustible disminuye.
- **Reducciones de potencia.** Las altas temperaturas y la altura podrían impedir que el grupo electrógeno alcance su clasificación de potencia indicada en la placa de identificación.

También es importante comprender de qué manera la compensación entre el factor de capacidad y la eficiencia eléctrica del grupo electrógeno afectan los ingresos. Imaginemos que hay dos unidades de 1.000 kW, un precio de venta de la electricidad de US\$70 por MWh y un costo de producción de combustible de US\$2/MMBtu (US\$70,63 /Nm³). Ahora imaginemos que las dos unidades operan al 96 por ciento de su capacidad, pero que la unidad A tiene una eficiencia del 39 por ciento, mientras que la unidad B tiene una eficiencia del 42 por ciento. En esa situación, la unidad B presenta una ventaja de ingresos netos del 2,2 por ciento (Figura 2).

Figura 2: igual factor de capacidad, eficiencia diferente

	UNIDAD A	UNIDAD B
kW de grupo electrógeno	1.000	1.000
Precio del gas US\$/mmbtu	US\$ 2,00	US\$ 2,00
Valor de energía producida US\$/MW-h	US\$ 70,00	US\$ 70,00
Eficiencia del generador	97,0 %	97,0 %
Régimen térmico del motor BTU/min	145.000	135.000
Factor de capacidad	96,0 %	96,0 %
Eficiencia eléctrica del grupo electrógeno	39,2 %	42,1 %
Combustible consumido/año mmbtu	73.163,52	68.117,76
Costo de combustible/año	US\$ 146.327	US\$ 136.236
MW producido por hora	8.410	8.410
Costo de combustible/MW por hora	US\$ 17,40	US\$ 13,20
Valor de la energía producida	US\$ 588.672	US\$ 588.672
Ingreso neto (costo de combustible vs. energía producida)	US\$ 442.345	US\$ 452.436

2,23 % de ventaja
de ingresos

Ahora, para las dos unidades, supongamos que la eficiencia eléctrica es del 42 por ciento, pero que el factor de capacidad de la unidad A es del 90 por ciento, y de la unidad B, es del 96 por ciento. En esta situación, la unidad B tiene una ventaja de ingresos del 6,25 por ciento (Figura 3).

Figura 3: misma eficiencia, diferente factor de capacidad

	UNIDAD A	UNIDAD B
kW de grupo electrógeno	1.000	1.000
Precio del gas US\$/mmbtu	US\$ 2,00	US\$ 2,00
Valor de energía producida US\$/MW-h	US\$ 70,00	US\$ 70,00
Eficiencia del generador	97,0 %	97,00
Régimen térmico del motor BTU/min	35.000	35.000
Factor de capacidad	96,0 %	90 %
Eficiencia eléctrica del grupo electrógeno	42,1 %	42,1 %
Combustible consumido/año mmbtu	68.117,76	63.860,40
Costo de combustible/año	US\$ 136.236	US\$ 127.721
MW producido por hora	8.410	7.884
Costo de combustible/MW por hora	US\$ 16,20	US\$ 16,20
Valor de la energía producida	US\$ 588.672	US\$ 551.880
Ingreso neto (costo de combustible vs. energía producida)	US\$ 452.436	US\$ 424.159

6,25 % ingresos
ventaja

Gastos

Los gastos de propiedad y operación se encuentran en la otra columna del libro contable, y suelen medirse en el costo por kilovatio-hora vendido o producido. Esta cifra del kilovatio-hora debe dar cuenta de las condiciones que reducen la salida del generador: cargas parásitas, factor de capacidad, reducciones de potencia, entre otras.

En las aplicaciones de biogás, los gastos más importantes son los costos de capital (incluido el tratamiento del combustible) y los gastos de mantenimiento y reparaciones. Entre estos últimos se incluye el mantenimiento del motor de rutina así como los reacondicionamientos principales, generales y acabados periódicos. Los mantenimientos no deben regirse por un calendario fijo, pero sí deben depender de los indicadores predictivos. El mantenimiento del tipo predictivo puede ayudar a ampliar el servicio y los intervalos entre reacondicionamientos así como reducir los costos de servicio en hasta un 15 por ciento. Entre las prácticas predictivas recomendables se encuentran:

- Uso de análisis del aceite para cambiarlo cuando verdaderamente es necesario, y no con intervalos fijos. Si bien la oxidación y nitración del aceite determinan los límites de bloqueo del aceite en las aplicaciones alimentadas por gas mediante tuberías, dichos límites en las aplicaciones con biogás están relacionadas con el número base total (TBN, total base number) bajo, que mide la capacidad de amortiguación del ácido que resta en el aceite, y con el número de ácido total (TAN, total acid number) alto, la cantidad de ácido presente.

- Monitoreo de las tendencias, como la recesión de válvula, el consumo de aceite y las emisiones de escape para programar mejor el calendario de reacondicionamiento.
- Uso de herramientas como el análisis de vibraciones y la termografía infrarroja para detectar posibles problemas antes de que ocurran las fallas.

CUIDADO DEL COMBUSTIBLE

La variable más significativa que afecta los costos de los proyectos de biogás es la calidad del combustible. En función de la fuente de origen, el biogás contiene diversas impurezas que pueden aumentar el desgaste y acortar los intervalos de mantenimiento y servicio. Entre estas impurezas se incluyen:

- Sulfuro de hidrógeno (presente en la mayor parte del biogás) e hidrocarburos halogenados (más frecuente en los gases generados por digestor del tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios) que pueden combinarse con agua y formar ácidos que erosionan los componentes del motor.
- Silicio (polvo, arena, material abrasivo), que está presente en la mayor parte del biogás y provoca un desgaste abrasivo prematuro.
- Siloxanos (compuestos de silicio provenientes de productos para el hogar que se encuentran en el gas producido por el digestor de aguas residuales y rellenos sanitarios) que forman depósitos rígidos semejantes a la cerámica en los compuestos del cilindro (Figuras 4-8).
- Agua. Los motores generalmente están diseñados para operar en condiciones de hasta 80 por ciento de humedad relativa según se mide por el agua sin condensación en el combustible, en tanto que la mayoría de los biogases supera marcadamente ese límite.



Figura 4: Válvula de escape con acumulación de siloxano



Figura 5: Corrosión figurante de la válvula

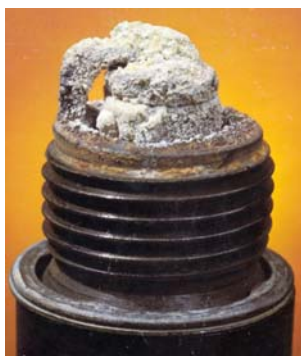


Figura 6: Bujía contaminada con siloxanos



Figura 7: Acumulación de siloxano en la rueda de la turbina del turbocompresor



Figura 8: Interior de un silenciador con residuo de siloxano

Existen tres maneras básicas para manejar las impurezas en el combustible, y pueden utilizarse de forma individual o combinadas, según sea la calidad del combustible, las condiciones del ambiente, los objetivos financieros, etc., entre otras consideraciones.

1. Tratamiento del combustible

Hay diversas tecnologías que pueden eliminar cantidades importantes de impurezas del combustible. Por ejemplo:

- Un enfriador, un coalescedor o un separador de partículas líquidas puede eliminar eficazmente el agua del combustible.
- Adsorbentes como el gel de sílice o el carbón pueden atrapar los siloxanos.
- La filtración del aire es eficaz contra el silicio (polvo/suciedad) y otras partículas.
- El adsorbente de carbón activado elimina el sulfuro de hidrógeno.

Si bien los tratamientos de combustible son eficaces al momento de reducir los contaminantes, suman a los costos de capital del sistema de transformación de biogás en energía, y agregan cargas parasíticas al sistema, además de requerir materiales y mano de obra de mantenimiento adicionales.

2. Opción de un motor "endurecido"

Algunos fabricantes ofrecen motores con características diseñadas para "endurecer" los componentes y los sistemas contra las impurezas presentes en el biogás. Estas unidades pueden operar con intervalos de mantenimiento cercanos a los intervalos comunes y con un tratamiento del combustible menos intensivo. Entre las modificaciones se incluyen:

- **Ventilación del cárter:** como línea de defensa adicional contra la corrosión, una bomba de baja presión expulsa los gases de escape del cárter e ingresa aire filtrado, fresco y cálido, de manera que los componentes del cárter no se encuentren expuestos a gases que forman ácido y al vapor de agua.
- **Cambios en el sistema de enfriamiento:** la elevada temperatura del agua de las camisas, – 230 °F (110 °C) en comparación con la temperatura tradicional de 210 °F (99 °C) ayuda a evitar la condensación del agua, que atrae al azufre, al cloro y al flúor atrapados en el combustible para formar ácidos débiles pero dañinos. En particular, una temperatura más alta evita que el agua presente en el combustible que ingresa al motor se condense en las camisas de cilindro, y previene la condensación de los gases de ventilación del cárter en el bloque del motor y otros componentes, situación que podría implicar el traslado de los ácidos al aceite lubricante. Las pruebas han demostrado que una temperatura más elevada del agua de las camisas reduce significativamente la corrosión abrasiva de las camisas de cilindro, y la corrosión por ácido de los componentes del cilindro, el cárter, los cojinetes y otras piezas de desgaste. La limitación de la condensación de los gases de escape también aumenta la vida del aceite mediante la reducción de los ácidos que los elementos de base (alcalinos) deben absorber en el aceite.
- **Cambios materiales:** los metales brillantes (aluminio y acero sin protección) que son vulnerables a la corrosión por ácido se reemplazan en determinados componentes. Por ejemplo, los núcleos de los posenfriadores que en los motores estándar son de aluminio, en las versiones para biogás están realizados en acero inoxidable, y los cojinetes de biela emplean revestimientos de bronce en lugar de acero.

- **Cambios en la geometría de los componentes:** ciertas modificaciones especiales ayudan a limitar los efectos de los siloxanos de combustible. Por ejemplo, se aumentan los ángulos de las válvulas y del asiento de las válvulas para evitar la formación de depósitos rígidos que podrían evitar el cierre correcto de la válvula. Esto permite que los gases producto de la combustión, que provocarían la quema de las válvulas de escape y disminuirían el rendimiento del motor, puedan escapar.

3. Mantenimientos acelerados

En algunos casos, a los propietarios puede resultarles más atractivo evitar los costos de instalación que implican los sistemas de tratamiento de combustible más avanzados y aceptar los costos de operación relacionados con intervalos de reacondicionamiento y mantenimiento más breves. Este dilema de pagar ahora o pagar más adelante, suele definirse en función de la evaluación que el desarrollador hace del riesgo y de la recompensa.

Evaluación de compensaciones

Cuando se trata de manejar las impurezas del combustible, hay que tener en cuenta las ventajas y desventajas de las diversas tecnologías de motor, los sistemas de tratamiento de combustible y sus costos iniciales y a largo plazo. Por ejemplo, si la calidad del combustible está dentro de los límites indicados para los motores de combustible de energía baja endurecidos, entonces ese motor puede emplearse con equipo de tratamiento de combustible mínimo, o sin equipo, lo que probablemente signifique ahorros por valor de cientos de miles de dólares en capital y costos de operación para el tratamiento de combustible.

Por otra parte, si las impurezas del combustible son tan considerables que es necesario realizar un tratamiento previo amplio, independientemente de la tecnología del motor, entonces los motores de eficiencia alta/alta compresión pueden ser la opción prudente, dado que los ahorros de operación obtenidos de las ganancias de la eficiencia ayudarán a compensar los costos generados por la instalación, la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento. Cada proyecto es único, y el método para abordar las impurezas del combustible debe sopesarse en función del sitio específico y del combustible.

Conocimiento del gas

Cuando se trata de seleccionar una estrategia para manejar las impurezas, no existe una sola respuesta correcta. El mejor método para abordar un sitio determinado depende de las condiciones de operación, los objetivos financieros y, principalmente, la calidad del biogás. Con el paso del tiempo, es necesario analizar el combustible para comprender los niveles de impurezas, el contenido de metano y el valor de calentamiento que tiene, y de qué manera estos parámetros se modifican con el tiempo, por hora, por día o por estación. Es importante contar con las tendencias de todos estos niveles.

Es común que el biogás producido por la digestión anaeróbica contenga aproximadamente 60 por ciento de metano, 35 por ciento de dióxido de carbono y el saldo restante de otros tipos de gases. Es crucial comprender el contenido de energía volumétrica presente en el combustible. Por ejemplo, un biogás de baja calidad con solamente 30 por ciento de metano significa que debe duplicarse el flujo de gas para poder ofrecer la misma energía, y exponer el motor al doble de impurezas. Además de esto, el valor de calentamiento bajo del combustible (el Btu/pie³ [MJ/Nm³]) influye en el tamaño del sistema de entrega de combustible.

También es crucial el contenido de dióxido de carbono del combustible, ya que afecta la velocidad de la llama en los cilindros, y la temperatura debe disminuir por debajo de un nivel máximo determinado para mantener la temperatura de escape y de la válvula en un alcance de operación seguro y disminuir la necesidad de realizar mantenimiento. Otra variable clave es la proporción del metano respecto de los gases inertes libres, incluido el dióxido de carbono y el nitrógeno libre (el nitrógeno que no ingresa naturalmente del aire en el combustible). El contenido excesivo de gas inerte impide el encendido del combustible, lo que lleva a que el motor ratee y por consiguiente se produzca una pérdida de potencia y una mayor cantidad de emisiones de escape.

El contenido de siloxano es una variable fundamental, en especial en los combustibles de biogás obtenidos en plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios. En las aplicaciones de biogás suelen preferirse los motores con proporción de compresión alta dada su eficiencia superior; sin embargo, resisten menos la contaminación por siloxanos. Aquellos sitios que utilizan motores de proporción de compresión alta quizá no tengan más opción que sumar el tratamiento de siloxanos del combustible, y su costo inicial así como las necesidades de mantenimiento continuo deben tenerse en cuenta en el perfil financiero del proyecto.

El plan del proyecto exige un cálculo aproximado de los costos de mantenimiento, en dólares, por kilovatio-hora, tanto con tratamiento del combustible como sin tratamiento. Idealmente, una evaluación de proyecto que analiza diferentes niveles de tratamiento de combustible proporcionará información suficiente respecto de los costos probables del proyecto como para que sirva de guía al momento de realizar la elección de la mejor alternativa de inversión posible.

SELECCIÓN DE UN SOCIO

Son pocas las organizaciones que tienen el conocimiento y la experiencia para planificar e implementar proyectos de transformación de biogás en energía. Es por esto que los proveedores de equipos y los consultores pueden ofrecer respaldo fundamental, desde la planificación del proyecto, hasta las etapas de financiamiento, construcción, operación y mantenimiento.

Un socio de proyecto apropiado debe ser aquel que cuenta con una comprensión profunda del biogás así como de la generación de energía, y posee experiencia comprobada en la realización de proyectos rentables. Además, el socio debe contar con acceso directo a las tecnologías de tratamiento de combustible y generación más apropiadas, según sean los requisitos que presenten las condiciones del sitio y del combustible.

El mantenimiento, el servicio y el respaldo técnico entregado a nivel local es esencial, dado que los proyectos de biogás pueden plantear desafíos de operación. También es fundamental contar con servicios de reacondicionamiento y reparación eficientes, entrega rápida de repuestos y tiempo de respuesta del servicio rápido, para poder así proteger el tiempo de disponibilidad y mantener el flujo de ingresos del proyecto.

El socio ideal ofrece respaldo mediante una sola fuente para cada etapa del proyecto, incluida la capacidad de que un solo proveedor sea quien diseñe, construya y opere el proyecto. Una opción interesante es celebrar un contrato de servicio y mantenimiento completo y de varios años con un proveedor de equipos, lo que garantiza un servicio de reparación, de mantenimiento y de entrega rápida de los repuestos con una garantía de tiempo de disponibilidad contractual, a una tarifa mensual o anual predecible y fija.

El aspecto financiero es un componente crítico en cualquier proyecto de transformación de biogás en energía. Existe una amplia variedad de opciones disponibles, entre otras la construcción y el financiamiento de la deuda a término para todo el proyecto: digestor anaeróbico, tratamiento de combustible, sistema de generación de energía, equipo de conmutación y controles eléctricos, equipo secundario y edificios.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el biogás se reconoce como un combustible renovable valioso. Además de crear una nueva fuente de ingresos, un proyecto de biogás puede ayudar a establecer mayores compromisos corporativos en relación con la reducción de la huella de carbono y las operaciones sostenibles. Es recomendable que los negocios que cuentan con el potencial de producir y utilizar biogás exploren todas las posibilidades en detalle.

APLICACIONES ESPECÍFICAS

Aquí tenemos cuatro ejemplos de operaciones rentables de transformación de biogás en energía que emplean distintas fuentes de combustible:

Relleno sanitario. El relleno sanitario en Ämmässuo, Finlandia, con un tamaño de 74 acres (30 ha), opera cuatro grupos electrógenos proporcionados por MWM gmbh, una empresa de Caterpillar. Cada uno tiene una capacidad nominal de 3,75 MW y quema metano del relleno sanitario. El valor calorífico bajo del combustible y la presión de gas inferior (1,5 lb/pulg²/10,34 kPa) exigió la presencia de un tren a gas para cada banco de cilindros, con el fin de entregar combustible suficiente que permitiera alcanzar la potencia nominal. La instalación comenzó a funcionar en 2010.

Cervecería. Una planta de cogeneración de calor y energía alimentada a biogás en la cervecería Guangzhou Zhujiang Brewery Group Co. en China se adapta a las condiciones de carga variables según la estación del año. El sistema utiliza un Grupo Electrónico Cat® G3508 con una potencia nominal de 460 kW, y una unidad Cat G3516 cuya potencia nominal es de 960 kW. Las dos unidades operan con biogás producido a partir de los subproductos del grano y de la levadura. La eficiencia general del sistema alcanza el 80 por ciento. Los ahorros provenientes del sistema son superiores a los US\$58.000 (RMB400.000) por mes.





Agricultura. Un Grupo Electrónico Caterpillar CG-132 de 600 kW, operado por el productor porcino Oude Lenferink en los Países Bajos, funciona con metano producido a partir de abono, maíz y glicerina. El motor a biogás ha estado en funcionamiento desde 2007, y ofrece energía más que suficiente para toda la operación, y la electricidad excedente se agrega a la red eléctrica y se vende como energía ecológica.



Tratamiento de aguas residuales. La Instalación de Control de Contaminación del Agua de Encina (California) utiliza biogás proveniente de su digestor anaeróbico para alimentar cuatro Grupos Electrónicos Cat G3516 que tienen una potencia nominal de 3.260 kW. En un día común, los grupos electrógenos funcionan mayormente con biocombustible, uno opera con gas natural de cuatro a ocho horas por día durante los momentos de demanda máxima. El sistema está en funcionamiento desde 2009 y genera 12 millones de kWh por año, lo que permite cubrir aproximadamente el 71 por ciento de las necesidades de la Autoridad de Aguas Residuales de Encina. El plan de la agencia contempla que la instalación de aguas residuales produzca el 96 por ciento de sus necesidades energéticas en el lugar para el año 2020.



ACERCA DE LA EMPRESA

Acerca de Caterpillar

Por más de 85 años, Caterpillar Inc. ha facilitado el progreso e impulsado cambios positivos y sostenibles en todos los continentes. Con ventas e ingresos por un valor de US\$60,1 mil millones en 2011, Caterpillar es el mayor fabricante del mundo de maquinaria de construcción y de minería, de motores diesel limpios y de gas natural, y de turbinas de gas industriales.

Centro de soluciones de gas: <http://www.catgaspower.com/?l=sp>

Comunidad en línea: <https://caterpillar.lithium.com/t5/Electric-Power-Generation/ct-p/EPG>

Facebook: <http://www.facebook.com/Caterpillar.Electric.Power>

YouTube: <http://www.youtube.com/CatPowerGeneration>

LSXE0595-00 Febrero de 2013

©2013 Caterpillar Todos los derechos reservados

CAT, CATERPILLAR, sus respectivos logotipos, "ACERT", el color "Caterpillar Yellow" y la imagen comercial de "Power Edge", así como las identidades corporativas y de producto utilizadas en la presente, son marcas registradas de Caterpillar y no pueden utilizarse sin autorización.