Metodologia de Projecto de uma unidade produtora de Biogás. Estudo de caso em Angola.

Project methodology of a biogas production unit. Case study in Angola.

Analcísio António Rodino¹

E-mail: analcísio@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4033-3075>

Horacio Salvador Hernandez¹

E-mail: hsalvadorh@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3745-2003>

Yohandra Rad Camayd¹

E-mail: hacamay2017@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-9727>

Agostinho Francisco Cachapa¹

E-mail: agostinhocachapa@yahoo.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8671-1764>

¹Universidade de Namibe. Moçâmedes, Angola

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rodino, A. A., Salvador-Hernandez, H., Rad-Camayd & Cachapa, A. F. (2022). Metodologia de Projecto de uma unidade produtora de Biogás. Estudo de caso em Angola. *Revista Sociedad & Tecnología*, 5(1), 1-12. Doi: <https://doi.org/10.51247/st.v5i1.185>

RESUMO

Numa altura em que Angola atravessa uma crise económica, alternativas que possam reduzir a dependência dos combustíveis fósseis são cada vez mais necessárias para o futuro da nação. Este estudo descritivo com abordagem qualitativa insere-se neste contexto com o objectivo de analisar a metodologia do projecto de uma unidade de produção de biogás localizada numa estação de tratamento de águas residuais, integrada por sistemas de digestão de pequena e grande capacidade. O trabalho assenta nos métodos histórico-lógico, revisão bibliográfica, indutivo-dedutivo e estatístico, efectuou-se o cálculo das

dimensões dos equipamentos principais da central de biogás, embora de forma simplificada e numa análise comparativa dos resultados obtidos. em usinas de biogás já implantadas em outras regiões do mundo. Conclui-se que em Angola não existem centrais produtoras de biogás, pelo que este potencial ainda não está a ser explorado, o que abre a possibilidade de investimento para projectos nesta área. Embora a avaliação económica não tenha sido realizada, deduz-se que o projecto é viável para áreas rurais e suburbanas.

Palavras-chave:

Biogás, depósitos de esterco, energia renovável

ABSTRACT

At a time when Angola is going through an economic crisis, alternatives that can reduce dependence on fossil fuels are increasingly needed for the nation's future. This descriptive study with a qualitative approach is part of this context with the aim of analyzing the methodology of the project of a biogas production unit located in a wastewater treatment plant, integrated by small and large capacity digestion systems. The work is based on historical-logical methods, literature review, inductive-deductive and statistical, the dimensions of the main equipment of the biogas plant were calculated, although in a simplified way and in a comparative analysis of the obtained results. In biogas plants already installed in other regions of the world. It is concluded that in Angola there are no biogas producing plants, so this potential is not yet being explored, which opens up the possibility of investment for projects in this area. Although the economic evaluation has not been carried out, it appears that the project is viable for rural and suburban areas.

Keywords:

Biogas, manure deposits, renewable energy

INTRODUÇÃO

Devido ao aumento constante dos preços dos derivados de petróleo e aos problemas ambientais causados pelas emissões derivadas do seu uso, as energias renováveis estão cada vez mais no centro das atenções mundiais.

Dentre essas fontes alternativas de energia renovável, as bioenergias são uma alternativa a ser considerada, embora ainda estejam em segundo plano. O aproveitamento do biogás é uma das formas com alto potencial, mas ainda pouco utilizada; Sua geração oferece aos produtores uma opção de energia renovável com excelente desempenho, arcando com o custo da energia eléctrica

externa e proporcionando energia limpa e correta distribuição dos efluentes gerados (Pérez Pelipiche et al., 2021).

Actualmente, Angola vive uma crise económica caracterizada pelo aumento do custo de vida, devido à crescente escassez de recursos alimentares e energéticos, ao contínuo crescimento populacional e à intensificação do consumo percapita; Soma-se a isso a existência de graves problemas no fornecimento de energia eléctrica.

Em meio a esse panorama, alternativas para a produção de energias renováveis estão sendo buscadas como forma de contribuir para a melhoria económica do país e a qualidade de vida dos cidadãos. Neste momento em que Angola atravessa uma crise económica, alternativas que possam reduzir a dependência dos combustíveis fósseis são cada vez mais necessárias para o futuro da nação.

Neste sentido, as energias renováveis têm sido identificadas como solução para os problemas de abastecimento de electricidade; mas seu grau de instilação na matriz de energia alternativa ainda é pequeno (Regueira Rojas et al., 2020). A matriz energética angolana, ao nível da aposta nas energias renováveis, caracteriza-se por um grande investimento na energia hidroeléctrica tradicional, com uma pequena percentagem na energia solar fotovoltaica.

Porém, o grande volume de resíduos sólidos produzidos pela população não é considerado uma alternativa para a produção de energia (Osés Aguilera et al., 2019). A cada ano, aumenta a quantidade de resíduos sólidos nas províncias e principalmente na capital do país, que se acumulam em locais inadequados devido à falta de uma gestão eficaz destes.

Tendo em vista o acúmulo de execiba desses resíduos e a não exploração da bioenergia, o sector de bioenergia tem voltado seu olhar para os projectos de geração de biogás como um paliativo à situação em que se encontra o país.

Neste contexto, o presente trabalho é realizado com o objectivo de analisar a metodologia do projecto de uma unidade de produção de biogás localizada numa estação de tratamento de águas residuais municipal ou industrial (ETAR), com sistemas de digestão de pequena e grande capacidade. Contribuir para o desenvolvimento económico e melhoria do sector energético local e nacional.

O artigo está estruturado em introdução, revisão de literatura, resultados e discussão e conclusões. Por sua vez, a seção dedicada à revisão da literatura é composta por três títulos; No primeiro, é realizado um breve estudo sobre os antecedentes do biogás como fonte de energia; o segundo trata da importância e características do biogás e, finalmente, o terceiro trata da tecnologia usada para o projecto do processo de geração de biogás proposto.

REVISÃO DA LITERATURA

Antes de entrar na análise do sistema de geração de biogás objecto deste estudo, será realizado um breve estudo de seus antecedentes.

Antecedentes do tema

Os primeiros relatos sobre o biogás datam de mais de cinco séculos. Em 1600, um grupo de cientistas identificou um gás proveniente da decomposição de matéria orgânica. Quase três séculos depois, no ano de 1890 foi construído o primeiro biodigestor na Índia e seis anos depois na Inglaterra de 1896, para alimentar as lâmpadas de iluminação pública com o gás dos digestores para a fermentação do lodo de esgoto da cidade.

Segundo Hilbert (s / f), descobrimos que após a Segunda Guerra Mundial, o uso de biodigestores para uso em equipamentos agrícolas como tractores, nos automóveis da época e até mesmo para emprego doméstico se expandiu por toda a Europa, China e Índia. No entanto, o biogás é rapidamente substituído por combustíveis fósseis prontamente disponíveis. Só a partir

da década de 70 do século passado, com a crise energética, a utilização do biogás como fonte de energia é considerada uma alternativa, fomentando a investigação neste domínio.

Nas últimas décadas, como resultado de pesquisas sobre processos microbiológicos e bioquímicos, grandes avanços tecnológicos foram obtidos que favorecem o uso do biogás. Os países que geram essas novas tecnologias incluem: China, Índia, Grã-Bretanha, França, Itália, Alemanha, Holanda, Suíça, Estados Unidos e Filipinas.

As estações de tratamento de resíduos industriais têm sofrido uma evolução significativa nos últimos anos e tendo passado uma primeira fase a nível piloto, na Europa e na China estão a ser disseminadas para determinados fins em combinação com tratamentos aeróbicos convencionais.

Apesar das vantagens da utilização do biogás no continente africano, é pouco utilizado, por exemplo em Angola não existe uma unidade de produção de biogás, embora existam as condições objectivas para o seu aproveitamento.

Importância do biogás como fonte de energia. Características

O sector de bioenergia, que inclui o biodiesel e o bioetanol, também tem duas outras vertentes: a geração de energia a partir da queima de biomassa e a geração de energia a partir do biogás. O biogás é o resultado da digestão anaeróbia de compostos orgânicos e pode ser obtido economicamente e tecnicamente viável em estações de tratamento de efluentes (ETAR) ou em aterros sanitários (Lönqvist et al., 2018).

A produção e o aproveitamento do biogás para a produção de energia representam uma alternativa muito atractiva ao uso de certas categorias de biomassa, cuja transformação em outros biocombustíveis não é técnica nem economicamente viável. O que distingue o biogás de outras energias renováveis tem a ver com o facto de poder utilizar uma grande variedade de "matérias-primas", incluindo resíduos industriais ou domésticos.

A produção integrada de biogás na ETAR, por exemplo, melhora o processo de tratamento geral, gerenciando simultaneamente o tratamento de resíduos, produzindo energia e, eventualmente, produzindo fertilizantes para a agricultura, bem como água para uso na irrigação agrícola. Ao contrário de outras formas de energia renovável, o biogás não tem as limitações geográficas ou tecnológicas necessárias para a produção de energia (Young, 2012).

O biogás, uma forma de energia limpa e renovável, pode muito bem ser um substituto na produção de energia. O biogás geralmente tem a seguinte composição: metano (55% -70%), dióxido de carbono (35% -45%), nitrogénio (0% - 3%), hidrogénio (0-1%) e sulfeto de hidrogénio (0 -1%) (Sowizdział et al., 2020; Joale et al., 2020).

Pelas suas características, o biogás é uma alternativa atractiva como fonte de energia, embora seu conteúdo energético seja inferior ao do gás natural. Possui alto teor de metano, resultado da degradação biológica na ausência de oxigénio molecular, sendo composto por aproximadamente 90-95% de metano. O gás metano é incolor, possui alto poder calorífico (5.000 - 7.000 kcal m³), é altamente combustível e não produz fuligem (Coelho et al., 2006).

No entanto, o número de reactores anaeróbios para produção de biogás ainda é limitado; mas, os resultados das investigações apontam para a sua ampla utilização dadas as suas características e a redução de custos (Hilbert, sd).

Tecnologias disponíveis

Conforme apontamos na seção anterior, nos últimos anos os estudos sobre a produção de biogás têm aumentado em todo o mundo, o que gerou diversas tecnologias.

Entre essas tecnologias estão os chamados reactores anaeróbios com mais de 1.000

m³ de capacidade, operando em temperaturas mesofílicas de 20°C a 40°C, ou termofílicas acima de 40°C; geralmente estão ligados a sistemas de cogeração que produzem calor, electricidade e um material efluente com alto teor proteico, utilizado na alimentação animal ou fertilizante para a agricultura (Hilbert, sd).

Os sistemas anaeróbios isolados ou combinados para o tratamento de líquidos de esgoto são uma técnica utilizada em todo o mundo para a geração de energia. Um dos problemas que o uso dessa tecnologia apresenta actualmente é a regulamentação dos produtos que são lançados nos sistemas de colecta de esgoto das cidades; O despejo de produtos químicos resultantes de processos industriais sem o devido tratamento tem causado sérios problemas no funcionamento desses sistemas.

Uma tecnologia muito atractiva para a produção de biogás é o aproveitamento do lodo produzido como subproduto dos processos de tratamento de efluentes em ETAR

Para o projecto do sistema de geração de biogás, foram consultados especialistas no assunto, a saber: Coelho et al. (2006), Akbulut (2012), Young (2012), Lönnqvist et al. (2018), Murugan e Appavu (2020) e Hilbert (s / f). A metodologia seleccionada foi a proposta por Young (2012), em sua pesquisa intitulada "Projecto de uma unidade de produção de biogás". Este autor propõe a utilização de lodo resultante do tratamento de efluentes que é produzido como subproduto de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em uma ETAR.

A **figura 1** a seguir representa um diagrama esquemático de uma linha convencional de tratamento de efluentes urbanos, destacando as operações que resultam na produção de lodo, bem como a sequência de tratamento da fase sólida e gasosa; tomado como referência.

Figura 1. Diagrama esquemático de uma linha de tratamento de águas residuais convencional
Fonte: Projecto de unidade de produção de biogás. Young (2012)

METODOLOGIA

Um dos principais elementos para a execução efectiva do projecto é a informação correcta sobre a quantidade de matéria-prima produzida por mês em uma determinada região.

Angola tem uma área de 1.246.700 km² e cerca de 32 milhões de habitantes; Embora não tenha sido possível determinar a quantidade de ETAR industrial, visto que existem muitas no país, se sabe que nenhuma das ETAR produz biogás.

Portanto, não foi possível fazer uma análise detalhada do mercado, que neste caso teve como objectivo avaliar a quantidade de matéria-prima (lodo) disponível na região. Os lodos de interesse são aqueles que actualmente não são recuperados, para fins energéticos ou agrícolas, e que, portanto, seriam destinados a aterro sanitário.

Os resultados das diferentes propostas analisadas foram comparados a fim de se chegar a conclusões sobre a selecção de um projecto eficiente. O projecto foi desenvolvido a partir de um aumento de 50% no valor da massa de matéria-prima

disponível, para prever possíveis oscilações, uma vez que a quantidade de matéria-prima no local utilizado é reduzida.

Além disso, foram utilizados os métodos histórico-lógico de revisão bibliográfica, indutivo-dedutivo e estatístico. Usando o método lógico-histórico, foi estudada a evolução ao longo do tempo do biogás como fonte de energia. A revisão bibliográfica forneceu a fundamentação teórica do estudo; enquanto o estatístico facilitou o dimensionamento dos equipamentos que compõem o sistema de instalação de produção de biogás: tanque receptor de matéria-prima, digestor, trocador de aquecimento de lodo, condensador de umidade, gasómetro e co-gerador.

Foi realizado o dimensionamento dos principais equipamentos da usina de biogás, embora de forma simplificada, e foi realizada uma análise correlacional dos resultados obtidos em usinas de biogás já implantadas em outras regiões do mundo. O método indutivo-dedutivo permitiu a generalização dos achados e a determinação das conclusões.

Seguindo a proposta de Young (2012), foi adaptada a instalação do sistema de produção de biogás, que conta com os seguintes equipamentos:

- Digestor anaeróbico;
- Condensador de remoção de umidade e sulfeto de hidrogénio;
- Gasómetro para armazenamento temporário de biogás;

- Queimador tipo maçarico para incinerar o biogás caso seu volume ultrapasse o volume do gasómetro;
- Motor de cogeração;
- Colonizador; e
- Tanque para receber a matéria orgânica digerida.

Como pode ser visto na **figura 2** a seguir.

Figura 2. Diagrama de blocos simplificado da unidade de produção de biogás (a linha de recirculação de lodo no digestor e a linha de circulação de água quente não são mostradas)
Fonte: Projecto de unidade de produção de biogás. Young (2012)

Para calcular as dimensões do equipamento principal do sistema de produção de biogás, autores como Matthew (2009), Montura (2010), Young (2012), Tochyńska e Frankowski (2018), Jarrar et al. (2020) e Inclui e DeWitt (2020).

Dimensionamento do tanque de recepção de matéria-prima

A matéria-prima que chega à unidade é armazenada em um tanque. Para o dimensionamento deste tanque, deve-se considerar o tempo de retenção em dias, como reserva para prever eventuais falhas no transporte ou disponibilidade de matéria-prima. Caso a matéria-prima seja lodo da ETAR, o volume do tanque é dado pela equação 1 (Jarrar et al., 2020).

$$V = Q \times T_r \quad (1)$$

Onde:

T_r - representa o tempo de residência

V - volume (m³)

Q - fluxo de lodo (m³ / dia)

A geometria deste tanque é determinada, obtendo-se o diâmetro através da equação 2 (Jarrar et al., 2020):

$$D = \sqrt[3]{\frac{8V}{\pi}} \quad (2)$$

Onde:

D - diâmetro (m)

Considerando que o tanque é construído com um diâmetro igual a metade de sua altura e seguindo Jarrar, et al (2020), esta altura é calculada usando a equação 3:

$$H = \frac{D}{2} \quad (3)$$

Onde:

H - altura (m)

D - diâmetro (m)

Dimensionamento do digestor

Para determinar as dimensões do digestor, o equipamento mais relevante na unidade de produção de biogás, as disposições de Jarrar, et al. (2020), que considera que o digestor deve ser circular, com altura igual a metade do diâmetro e volume de segurança de 20% do total.

Como as configurações da estrutura do tanque receptor são as mesmas do digestor, as equações para determinar o volume, diâmetro e altura são as mesmas (1, 2 e 3).

Dimensionamento do trocador de aquecimento de lodo

Considerando que é possível utilizar água quente para aquecer o lodo, que vem da unidade de cogeração a uma temperatura de 70 ° C, e que deve retornar ao motor a 50 ° C. Pode-se escolher um com tubos concêntricos, pois é fácil de instalar e manter, e é barato, apesar de ter uma área de transferência de calor reduzida por unidade de volume. Segundo Matthew (2009), para calcular esta área, é necessário considerar o coeficiente global de transferência de calor.

A transferência de calor no trocador é motivada pelo gradiente de temperatura, que é representado pela média logarítmica da diferença de temperatura entre os fluidos (Young, 2012), conforme equação 4:

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (4)$$

Onde:

ΔT_{ln} - Temperatura média do condensador de umidade (K).

A área de transferência de calor é dada pela equação (5):

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T} \quad (5)$$

Dimensionamento do condensador de umidade

Para o cálculo da área do condensador umidade, é necessário considerar o coeficiente global de transferência de calor estipulado por Inclui e DeWitt (2020).

Como não trocador, a transferência de calor sem condensação é motivada por um gradiente de temperatura, que é representado pela diferença logarítmica média de temperatura entre os fluidos, utilizando a equação 4, e considerando que se pretende reduzir a temperatura do biogás de 35 para 20 ° C, utilizando água a 15 ° C e deixando subir até 20 ° C, é possível determinar a temperatura média.

Usando a equação 5, um valor de área é obtido. Se o valor da área determinada for muito alto para se considerar uma enfardadeira de tubos concêntricos, ela deve ser considerada um balanceador clássico para tubos ou placas.

Dimensionamento do gasómetro

O gasómetro servirá para reservar biogás por até dois dias (tempo de retenção estimado como adequado). Aceitando que o biogás se comporta de maneira ideal e que o gasómetro está sobredimensionado por questões de segurança, o volume dado pela equação 6 pode ser considerado, levando-se em consideração a equação 5, na qual o volume foi corrigido para uma temperatura de 35 ° C. o gasómetro não é suficiente, por exemplo devido à falha do motor de cogeração, haverá um flare para queimar o excedente. O gasómetro é aproximadamente esférico.

$$V = V_b \times \Delta T_{ln} \times T_r \quad (6)$$

Onde:

V - volume (m3)

Vb - volume de biogás produzido (m3)

Tr - tempo de residência

$[\Delta T]_{ln}$ - temperatura média do condensador de umidade (K)

Segundo Tochyńska e Frankowski (2018), o volume de biogás produzido é obtido através da equação 7:

$$V_b = B_e \times M_s \quad (7)$$

Onde:

V_b - volume de biogás produzido (m³)

B_e - eficiência do biogás (m³ / Mg)

M_s - massa do substrato (Mg)

Dimensionamento do cogrador

Segundo Montura (2010), o menor valor calorífico do biogás é de 6,5 kWh / m³ e normalmente consegue-se uma eficiência de conversão de energia eléctrica em torno de 30%. Considerando a estimativa de produção de biogás, a energia eléctrica obtida é dada pela equação 8

$$E_{E_{dia}} = P_c \times 0,30 \times V_b \quad (8)$$

Onde:

E_{E_{dia}} - Quantidade de energia produzida por dia (MWh / dia)

V_b - volume de biogás produzido (m³)

A quantidade de energia produzida (kWh) também pode ser obtida a partir da equação 9 (Tochyńska & Frankowski, 2018):

$$E_E = V_{CH_4} \times Ra_{CH_4} \times \eta_E \quad (9)$$

Onde:

E_E - quantidade de energia produzida (MWh)

V_{CH₄} - volume de metano produzido (m³)

Ra_{CH₄} - razão de energia potencial de metano (0,00917 MWh / m³)

η_E - Eficiência eléctrica da unidade de cogeração

A quantidade de calor produzida (kWh) também pode ser obtida usando a equação 10:

$$E_H = V_{CH_4} \times Ra_{CH_4} \times \eta_T \quad (10)$$

Onde:

E_H - quantidade de calor produzida (MWh)

V_{CH₄} - volume de metano produzido (m³)

Ra_{CH₄} - razão de energia potencial de metano (0,00917 MWh / m³)

η_T - eficiência térmica da unidade de cogeração

A potência do motor de cogeração deve ser de 20% da energia eléctrica obtida (Young, 2012; Jarrar et al., 2020).

De referir que a instalação deve incluir um edifício de apoio aos serviços administrativos, um laboratório, balneários e instalações sanitárias e um edifício de protecção dos motores de cogeração, uma vez que estes edifícios não fizeram parte da concepção deste projecto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção dos resultados numéricos do projecto, foi realizada uma análise correlacional de um projecto de uma unidade de biogás já instalada (Young, 2012), na qual se considerou que o fluxo de lodo alimentado diariamente ao digestor foi de 22 toneladas. A massa específica de lodo é maior do que a massa específica de água e é certamente variável. Considerando a massa específica igual a 1 ton / m³, a vazão volumétrica do lodo é de 22 m³ / dia, o que representa uma estimativa de excesso. Aceitando um tempo de residência de 20 dias, o volume do digestor deve ser de 440 m³. Considerando a margem de segurança de 20%, o volume aumentado é de 528 m³; e pelas equações 2 e 3, o diâmetro é igual a 11 m e a altura do digestor é de 5,5 m.

Resultados do cálculo param o tanque de recepção de lodo

Tendo em conta que a instalação está a ser dimensionada para um tanque de lamas de 22 m³ / dia, ou seja, o volume do tanque com equação 1 será de 44 m³. O diâmetro e a altura serão iguais aos resultados do digestor.

Resultados de cálculo param trocador de calor de lodo

Para o cálculo da área, é necessário considerar o coeficiente global de transferência de calor disponível na literatura (Matthew, 2009), uma vez que a faixa é de 1250-2500 W / m²K. O valor

médio da faixa, $U = 1875 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$, foi considerado.

A transferência de calor no trocador, por meio da equação 4, será de 30,8 K.

A área de transferência de calor através da equação 5 é obtida após a substituição $A = 29,82 \text{ m}^2$. Se o tubo de recirculação de lodo tiver um diâmetro externo de 5 "(12,7 cm), o comprimento do trocador deve ser de 75 m. Este tipo de trocador é geralmente dividido em seções, portanto, ao considerar um comprimento de 10 m, seriam necessárias 8 seções.

Resultados do cálculo param condensador de umidade

Para calcular a área, é necessário considerar o coeficiente global de transferência de calor disponível na literatura (Includes & DeWitt, 2020). Como a faixa é de 1000-6000 $\text{W} / \text{m}^2\text{K}$, para o caso de capacitores, optamos por usar o valor médio $U = 3500 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$.

Usando a equação 4, e levando em consideração que a intenção é reduzir a temperatura do biogás de 35 para 20 ° C, utilizando água a 15 ° C e deixando subir até 20 ° C, a temperatura média $[\Delta T]$ _In será igual a 2,90 K.

Usando a equação 5, um valor de área igual a 170 m^2 é obtido. Este valor é muito alto para considerar um trocador de calor de tubo concêntrico, portanto, um trocador de calor de tubo e caixa clássico ou um trocador de calor de placas deve ser considerado.

Se for considerado um trocador de calor a placas, com dimensões de 1 x 2 m, o que corresponde a 2 m^2 por placa. Nesse caso, o trocador teria 85 placas. Se cada elemento do trocador tiver espessura de 18 mm, sua largura corresponderá a 1,5 m, valor razoável (Young, 2012).

Resultados do cálculo param o gasómetro

Sabendo que o gasómetro é aproximadamente esférico, seu diâmetro deveria ser de 9,6 m, assumindo 10 m. e o volume, pela equação 6, será de 3683 m^3 .

Resultados do cálculo param o co-gerador

Considerando a estimativa de produção de biogás, a energia eléctrica obtida por dia, por meio da equação, será de 3.475 kWh / dia.

Convertendo as unidades em kW, o resultado é 145 kW. Considerando uma margem de sobredimensionamento de 20%, a potência do motor de cogeração deve ser de pelo menos 174 kW. Este valor é razoavelmente consistente com o valor obtido pelo ajuste da escala de potência proposto por Akbulut (2012).

Os resultados do presente estudo concordam com os obtidos por Matthew (2009), Young (2012) e Akbulut (2012) em suas respectivas investigações.

Embora a avaliação económica e os benefícios da unidade de biogás não tenham sido realizados, pode-se deduzir que o projecto é viável para áreas rurais e suburbanas. O biogás pode ser usado em uma percentagem maior para gerar electricidade e substituir o gás de cozinha (butano / propano).

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia de projecto de instalação para produção de biogás a partir de lamas ETAR e a consulta de materiais bibliográficos permitem concluir que:

- Em Angola não existem centrais produtoras de biogás, pelo que este potencial ainda não está a ser explorado, o que abre a possibilidade de investimento para projectos nesta área.
- O valor da capacidade instalada para um fluxo de lodo de 22 toneladas / dia, e assumindo um tempo de retenção de 20 dias no digestor, com um volume estimado de 528 m^3 , foi gerada uma produtividade em termos de energia eléctrica da ordem de 3.500 kWh / dia, o que facilita um melhor fortalecimento da rede eléctrica nacional e até o abastecimento de sistemas eléctricos isolados. Ressalta-se que os

resultados apresentados estão sujeitos a alterações, uma vez que o projecto dos equipamentos principais do processo foi realizado de forma simplificada, sem entrar em detalhes construtivos, etc.

- Embora a avaliação económica não tenha sido realizada, dependendo dos benefícios, pode-se deduzir que o projecto é viável para áreas rurais e suburbanas, uma vez que se o biogás não for utilizado em um percentual maior para electricidade, a distribuição para fogões residenciais será de grande importância, pois o biogás pode substituir o gás de cozinha (butano / propano).

LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

O estudo se limita a uma descrição do sistema de produção de biogás proposto; Além disso, Não foi possível realizar uma análise de mercado detalhada, que permitisse avaliar a Quantidade de matéria-prima (lodo) disponível na região. Aspecto pendente para estudos Futuros.

RECONHECIMENTO

Os autores agradecem aos seus colegas e directores da Universidade do Namibe em Angola pela colaboração na realização desta investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbulut, A. (2012). Análisis tecnoeconómico de la generación de electricidad y calor a partir de una planta de biogás a escala agrícola: estudio de caso de Çiçekdağı. *Energía*, 44: 381-390. DOI: 10.1016 / j.energy.2012.06.017
- Coelho, S. T., Velásquez, S. M., Silva, O. C., Pecora, V., & Abreu, F. C. (2006). *Generación de electricidad a partir de biogás procedente del tratamiento de aguas residuales*. (Acta 6. Reunión de Energía en el Medio Rural, 2006, Campinas, SP, Brasil)
- http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100070&lng=en&nrm=iso
- Hilbert, J. (s/f). *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural. I.N.T.A. Castelar.
- Incluye, F. P., & DeWitt, D. P. (2020). *Fundamentos de la transferencia de calor y masa*. 5ª ed. Editorial: John Wiley and Sons.
- Jarrar, L., Ayadi, O., & Al Asfar, J., (2020). Aspectos tecnoeconómicos de la generación de electricidad a partir de una planta de biogás en una granja, *J. sustain. dev. medio ambiente de agua de energía. syst.* 2020; DUELE, 8(3), 476-492. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0302>
- Joale, P. C., Ricardo P. F. & Medina, T. G. I. (2020). Dimensionamiento de sistemas de generación de energía eléctrica a partir de biogás mediante la metodología de escalonamiento del generador. *SN Apl. Ciencia*, 2, 215. DUELE:<https://doi.org/10.1007/s42452-020-1968-0>
- Lönnqvist T, Sandberg T, Birbuet JC, Olsson J, Spinoza C, Thorin E, Grönkvist S, Gómez MF. (2018). Generación de biogás a gran escala en Bolivia: una reconfiguración escalonada. *Revista de producción más limpia*. DUELE, 180, 494-504. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.174>
- Matthew, D. M. (2009). *Fundamentos de la transferencia de calor*. Manuales de IPT. Instituto Politécnico de Tomar.
- Montura, M. M. (2010). *Contribución al Estudio de Valorización Energética del Biogás en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. (Tesis de grado) Universidade Nova de Lisboa, Facultad de Ciencia y Tecnología

- Murugan, N. & Appavu, P. (2020). Investigación sobre la generación de biogás a baja temperatura. *Revista Internacional de Energía Ambiental*. 41 (1): 5-7. DOI: 10.1080 / 01430750.2018.1443283
- Osés Aguilera, R. ., Cabrera Álvarez, E. N., & Cruz Moreira, J. I. . (2019). Sistema Informático para el Control Ambiental de la Montaña en Cienfuegos, Cuba. *Sociedad & Tecnología*, 2(1), 18-26. <https://doi.org/10.51247/st.v2i1.15>
- Pérez Pelipiche, N., Fonseca Arias, B., & Ocejo Salvador, A. M. (2021). Contextualización de la Tarea Vida en el proceso de formación profesional. Universidad de Oriente. *Sociedad & Tecnología*, 4(2), 96-108. <https://doi.org/10.51247/st.v4i2.99>
- Regueira Rojas, J. J., Regueira Molina, V. A., & Toledo Rivero, V. R. (2020). Sistema informático para la gestión de la información de los ciclones tropicales. *Sociedad & Tecnología*, 3(2), 34-41. <https://doi.org/10.51247/st.v3i2.65>
- Sowiżdżał K, Słoczyński T, Sowiżdżał A, Papiernik B, Machowski G. (2020). Sistema de generación de biogás del mioceno en las profundidades de los Cárpatos (SE Polonia): un estudio de modelado de cuencas para evaluar el potencial de los reservorios de fango no convencionales. *Energies*, 13(7), 18-38. DOI:<https://doi.org/10.3390/es13071838>
- Tochyńska, M. & Frankowski, J. (2018). El potencial de producción de biogás a partir de residuos de gusanos de seda. *Gestión de residuos*. 79, 564-570. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.019>
- Young, E. (2012). *Proyecto de una unidad de producción de biogás. Instituto Politécnico de Tomar 2012*. (Tesis para la realización del curso de Tecnología Química). Tomar Technology School.

CONTRIBUCIÓN DE LOS COAUTORES

Los cuatro autores colaboraron en la realización de la investigación y elaboración del presente artículo. En el siguiente cuadro resumen se sintetiza la responsabilidad de cada uno.

Cuadro resumen de la contribución de los coautores

Coautor	Responsabilidad
Analcísio António Rodino	Autor principal, responsable de la planificación y ejecución de la investigación. Participó en los cálculos de las dimensiones de los equipos que integran el sistema propuesto. Redacción del artículo.
Horacio Salvador Hernández	Recuperó los materiales bibliográficos consultados. Participó en el diseño del sistema de producción de biogás propuesto. Participó en el análisis y discusión de los resultados.
Yohandra Rad Camayd	Tuvo a su cargo la revisión bibliográfica y elaboración del acápite sobre los antecedentes.

	Participó en la comparación del proyecto propuesto con otros sistemas encontrados en la literatura para determinar ventajas y limitaciones. Participó en la redacción del artículo.
Agustín Francisco Cachapa	Participó en la revisión de la bibliografía, análisis y discusión de los resultados y en la redacción del artículo. Participó en los cálculos de las dimensiones de los equipos que integran el sistema propuesto.

BIOGRAFÍA DE AUTORES

Analísio António Rodino

Licenciado em Engenharia Elétrica pela Escola Superior Politécnica do Namibe, Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade da Beira Interior, Doutorando em Sistemas Sustentáveis de Energia pela Universidade do Porto, Docente Assistente na Universidade do Namibe.

Horacio Salvador Hernández

Licenciado En Física por lá Universidad Estatal de Moscovo, MsC En matemática aplicada a lá informática por lá Universidad Oscar Lucero. Holguin Professor Auxiliar de lá Universidade de Namibe, Professor Colaborador del Instituto Superior de Ciências de lá Educación

Yohandra Rad Camayd

Licenciada En Sociologia por lá Universidad de Oriente, Ms. C. En Educación Superior por lá Universidad de Oriente. Dr. C. Pedagógica por el Centro de Estudios de lá Educación Superior Manuel F. Grant. Especialista En Investigaciones Sociales. Profesora Auxiliar de lá Universidad de Namibe. Angola.

Agostinho Francisco Cachapa

Professor Catedrático, Licenciado en Ciências Pedagógica especialidad Química porvel instituto de Ciências Pedagógica Enrique José Carona. Habana. Dr. C. En Ciências Químicas por lá Universidad de lá Laguna Espanha. Cordinador adjunto de lá comisión instaladora de lá universidad de Namibe para el área académica.