



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GRANMA  
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



## Trabajo de Diploma

*En opción al título de Ingeniero Electro-Mecánico*

**TÍTULO: ESTUDIO DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA UEB CÁRNICOS  
BAYAMO. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS DERIVADOS DEL PROCESAMIENTO CÁRNICOS.**

**Diplomante: Willian David Arcos Narváez**

Bayamo. M.N.  
CURSO ACADÉMICO 2015-2016



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GRANMA  
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



## Trabajo de Diploma

*En opción al título de Ingeniero Electro-Mecánico*

**TÍTULO: ESTUDIO DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA UEB CÁRNICOS BAYAMO. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DERIVADOS DEL PROCESAMIENTO CÁRNICO.**

**Diplomante: Willian David Arcos Narváez**

**Tutores:** Dr.C. Ing. Yoandro Rodríguez Ponce. Prof. Aux, Jefe de Carrera Ingeniería Mecánica.

Dr.C. Ing. Yans Guardia Puebla. Prof. Aux. Vicedecano Docente.

Bayamo. M.N.  
CURSO ACADÉMICO 2015-2016

## Aval del director de tesis

Yo, Dr.C, Ing. YOANDRO RODRÍGUEZ PONCE, Dr. C. Ing. Yans Guardia Puebla docentes de la Universidad de Granma y directores de la presente tesis de grado **“ESTUDIO DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA UEB CÁRNICOS BAYAMO. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DERIVADOS DEL PROCESAMIENTO CÁRNICOS”**, del estudiante Willian David Arcos Narváez de la especialidad de ingeniería Electromecánica. **CERTIFICO:** Que ha sido prolijamente revisada.

Por tanto, autorizo la presentación; de la misma ya que está de acuerdo a las normas establecidas en las **ORIENTACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE DIPLOMA EN LA UNIVERSIDAD DE GRANMA**, vigentes.

Dr.C, Ing. YOANDRO RODRÍGUEZ PONCE

Dr.C, Ing. YANS GUARDIA PUEBLA

DIRECTOR DE TESIS



## **Agradecimientos**

Para poder realizar esta tesis de la mejor manera posible fue necesario del apoyo de muchas personas a los cuales quiero agradecer

En primer lugar a Dios que a pesar de mis debilidades nunca me aparto de su presencia y siempre se encuentra a mi lado cuidándome y guiando mis pasos en todo momento.

A mis padres, a mi Abuelita, hermanas, primos y familia en general quienes han sido mi principal fuente de apoyo incondicional para alcanzar este éxito tan anhelado.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Universidad De Granma por abrirme las puertas de la institución, a cada uno de los docentes que supieron compartir sus conocimientos formándonos principalmente como Seres Humanos y como Profesional.

A mis directores de tesis Dr. C. Yoandro Rodríguez Ponce, Dr. C. Yans Guardia Puebla quienes supieron apoyarme y guiarme en la realización de este trabajo de tesis brindándome su dirección, apoyo y confianza.

A mi novia Sarai Vera por estar a mi lado brindándome su apoyo

Mi más sincero agradecimiento a todos quienes de una u otra manera me brindaron su ayuda para salir de esas dificultades.

Gracias a todos por hacer de mi vida más llevadera y pertenecer a mi círculo de amistad.

Willian Arcos

## **Dedicatoria**

Este trabajo de grado es dedicado con mucho cariño a toda mi familia en especial a mi padre Mario Arcos, mi madre Bertha Narváez y mi abuelita Inés Narváez por estar siempre apoyándome con su esfuerzo, consejos y confianza. Por estar pendientes de mí día a día en el transcurso de mis estudios universitarios y así lograr obtener un título profesional.

Willian Arcos

## RESUMEN

El presente trabajo está enfocado a la Evaluación energética y la determinación del potencial para la producción de Biogás en la UEB Cárnicos Bayamo desde el año 2012 a 2014; lo que reveló que la energía eléctrica y el combustible Fuel-Oil son los de mayor influencia con un 58,04 y un 33,90% en los consumos energéticos.

Durante el estudio se analizaron las potencialidades de producción de biogás del residual sólido que mediante un diseño de mezclas simplex lattice, seguido de un análisis de las respuestas permitió modelar y optimizar la producción de metano en la codigestión anaerobia de tres diferentes substratos generados en las plantas procesadoras de cárnico: estiércol, rumen y agua residual. Del análisis de los resultados se obtiene que el mejor ajuste fue el modelo cúbico especial, con valores de  $R^2$  y  $R^2_{ajustado}$  de 95,13 % y 90,96 % respectivamente, lo cual permitió determinar el biogás que se produce diariamente. Finalmente, se utilizó la secuencia de diseño de los biodigestores de cúpula fija del tipo GBV lo cual concluyó que es necesaria la construcción de 2 biodigestores de 47,5 m<sup>3</sup>, que producirán un volumen diario aproximado de 15 m<sup>3</sup> de biogás.

## **ABSTRAC**

The present work is focused on energy assessment and determination of the potential for biogas production in the UEB Carnicos Bayamo since 2012-2014; revealing that electricity and fuel Fuel-Oil are the most influential with 58.04 and 33.90% in energy consumption.

During the study the potential of biogas production from solid waste analyzed that by design simplex mixtures lattice, followed by an analysis of responses allowed model and optimize methane production in anaerobic co-digestion of three different substrates generated in plants meat processing: manure, rumen and wastewater.

An analysis of the results it is found that the best fit fueel special cubic model, with values of  $R^2$  and  $R^2_{ajustado}$  of 95.13% and 90.96% respectively, which allowed us to determine the biogas produced daily. Finally, the sequence design biodigesters fixed dome type of GBV which concluded that the construction of two 47.5 m<sup>3</sup> biodigesters, which produce a daily volume of approximately 15 m<sup>3</sup> of biogas is necessary is used.

# Índice

Dedicatoria.....	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
Problema de investigación:.....	3
Objeto de Estudio:.....	3
Campo de acción:.....	3
Hipótesis:.....	3
Objetivo general:.....	4
Objetivos específicos:.....	4
CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.1 La Gestión Energética.....	5
1.1.1 La Gestión Energética en Cuba.....	6
1.1.2 Sistemas de Gestión Energética (sgen). .....	7
1.1.3 Beneficios de la implantación de un sgen.....	11
1.2 Gestión Total Eficiente de la Energía. ....	12
1.2.1 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE).....	13
1.3 La responsabilidad ambiental y el tratamiento de los residuales generados en las plantas procesadoras de cárnicos.....	15
1.3.1 Generación de residuos en las plantas procesadoras de cárnicos.....	16
1.4 El proceso de digestión anaerobia.....	17
1.4.1 Productos finales del proceso de digestión anaerobia.....	18
1.4.2 Algunas experiencias en el tratamiento anaerobio de los residuales de las plantas procesadoras de cárnicos.....	19
1.4.3 Codigestión anaerobia de residuos de las plantas procesadoras de cárnicos. .....	20
1.4.4 Optimización del proceso de codigestión anaerobia.....	20
1.5 Diseño y construcción de biodigestores anaerobios de primera generación. .	22



1.5.1 Tipos de biodigestores anaerobios.....	23
1.5.2 Dimensionamiento de los biodigestores anaerobios.....	26
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS. ....	
2.1 Comportamiento energético de la UEB Cárnicos Bayamo. ....	30
2.1.1 Etapas en la implementación de un sistema de gestión energética. ....	30
2.1.2 Herramientas para establecer un sistema de gestión total eficiente de la energía. ....	31
2.2 Potencial de producción de biogás.....	46
2.2.1 Metodología de diseño de los biodigestores de cúpula fija.....	47
2.2.2 Dimensionamiento del biodigestor anaerobio GBV. ....	48
2.3 Sustratos para la codigestión anaerobia.....	49
2.3.1 Procedimiento experimental. ....	50
3 CAPITULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	
3.1 Comportamiento energético de la UEB Cárnicos Bayamo. ....	51
3.2 Análisis de la aplicación de las Herramientas del sistema de gestión total eficiente de la energía. ....	52
3.3 Evaluación de las variables actuales para el control de la Eficiencia Energética. ....	53
3.4 Caracterización de los residuos generados en la UEB Cárnico Bayamo. ....	61
3.5 Caracterización de los sustratos.....	62
3.6 Determinación del modelo matemático y evaluación estadística.....	63
3.7 Análisis de la superficie de respuesta y determinación de las condiciones óptimas. ....	67
3.8 Evaluación de las potencialidades energéticas del biogás. ....	70
3.9 Diseño del biodigestor anaerobio para la producción de biogás. ....	71
Conclusiones.....	74
Recomendaciones. ....	75
Referencias bibliográficas. ....	76

## INTRODUCCIÓN.

A medida que ha pasado el tiempo, el hombre ha ido dependiendo cada vez más de recursos energéticos para la satisfacción de necesidades como: iluminación, calefacción, refrigeración, transporte. Esta dependencia energética ha acarreado un sobreabuso específicamente de combustibles fósiles, recursos no renovables. La dependencia respecto al uso de estos combustibles ha generado dos tipos de preocupaciones: por un lado, los impactos ambientales asociados y, en especial, sus efectos en el cambio climático; por otro, la limitación de reservas y su futuro agotamiento. Las dos preocupaciones han dominado en diferentes momentos históricos. En cualquier caso, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el uso masivo de unos recursos no renovables y muy limitados son dos caras de la misma moneda y se han de analizar conjuntamente. (Roca Jusmet, 2008).

Los combustibles fósiles representan cerca del 90% del consumo mundial de energía comercial (solo el petróleo garantiza alrededor del 43%) y aportan alrededor de un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub>(principal gas de efecto invernadero). Consecuentemente, las medidas para el control del cambio climático deben dirigirse, en lo fundamental, a modificar los actuales patrones de producción y consumo de energía. El previsible agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente, exige la adopción de nuevas estrategias en materia de energía, como base de un modelo de desarrollo sostenible, que permita satisfacer las necesidades energéticas de la generación actual y preservar las posibilidades para que las futuras generaciones puedan también encontrar soluciones para satisfacer las suyas.

La eficiencia energética consiste en la reducción de consumo de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort ni la calidad de vida, asegurando el abastecimiento, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad. Aunque normalmente nos referimos siempre a la energía eléctrica, por ser la más utilizada en la industria, la eficiencia energética puede aplicarse a todas las fuentes de energía utilizadas, como gasoil, gas, vapor, etc.

La eficiencia energética no consiste únicamente en poseer las últimas tecnologías, sino de saber emplear y administrar los recursos energéticos disponibles de un modo hábil y eficaz, lo que requiere desarrollar procesos de gestión de la energía, en los que la introducción de fuentes de energías renovables juega un papel decisivo para el tránsito hacia la energética sostenible.

La tecnología del biogás, que es una limpia y renovable forma de energía, es un buen sustituto (especialmente en las zonas rurales) de las fuentes convencionales de energía (combustibles fósiles) (Yadvika *et al.*, 2004). La composición típica del biogás es 55 - 70 % de metano (CH<sub>4</sub>), 30 - 45 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0 - 2 % de nitrógeno (N) y trazas de otros compuestos, como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno, denominado ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). Entre estos compuestos, el metano es el más importante desde el punto de vista de combustión. Es una invaluable fuente de energía renovable, pero también es un importante gas de efecto invernadero. El metano producido en el proceso de digestión anaerobia de los estiércoles presenta entre 4800 – 6700 kcal m<sup>-3</sup>, el cual es cercano a los 8900 kcal m<sup>-3</sup> obtenida con la energía del metano puro (Rasi *et al.*, 2007). El biogás puede ser utilizado como combustible para los motores de combustión interna, las turbinas de gas, las celdas de combustible, los calentadores de agua, calentadores industriales, entre otros muchos procesos. También, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de electricidad, donde la eficiencia de conversión global está alrededor de 10 - 16 % (Demirbas *et al.*, 2011).

Varios estudios han mostrado que es factible el proceso de digestión anaerobia para dar tratamiento a los residuos generados en las plantas de procesamiento de cárnicos (Salminen y Rintala, 2002b; Nery *et al.*, 2008; Wymyslowski *et al.*, 2010; Bayr *et al.*, 2012). No obstante, los residuales al presentar altos contenidos de proteínas y grasas pueden provocar la inestabilidad del proceso de digestión anaerobia (Salminen y Rintala, 2002a; López y Borzacconi, 2010). A pesar de los conocidos beneficios reportados de la codigestión anaerobia (Marañón Maison *et al.*, 2009; Alrawi *et al.*, 2011; Fang *et al.*, 2011; Jiménez *et al.*, 2015), no está bien estudiado si algunos substratos han tenido algún impacto adverso en la producción de metano cuando se codigestan los residuos generados en las plantas procesadoras de cárnicos.

Actualmente existen varios tipos de biodigestores anaerobios para la producción de biogás, y su diseño está determinado por el tipo de residuo a tratar. Para los residuos sólidos o semi-sólidos, tales como los estiércoles y el rumen, el tipo de reactor que más se utiliza es el biodigestor en “batch” o por lotes. Este diseño se basa en colocar el sustrato en un reactor biológico, con un tiempo de retención hidráulico fijo (entre 20 – 30 días), y pasado ese período se extrae el sustrato digerido (Abbasi *et al.*, 2012).

Una de las empresas cubanas en busca de cambios que generen eficiencia energética y por ende ahorro en el consumo de portadores energéticos es la UEB Cárnico Bayamo perteneciente a la provincia Granma, inmersa en diferentes proyectos, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental y reducir el sobreconsumo de portadores energéticos, lo que forma parte de las bases que fundamentan la realización de este trabajo, por lo que se plantea el siguiente problema de investigación:

**Problema de investigación:**

No se conoce las reservas energéticas existentes en la UEB Cárnicos Bayamo debido a las insuficiencias en la gestión de los recursos energéticos que limitan la eficiencia productiva de la entidad.

**Objeto de Estudio:**

La gestión total y eficiente de la energía y los residuales generados del proceso productivo.

**Campo de acción:**

Gestión de los recursos energéticos en la UEB Cárnicos Bayamo.

**Hipótesis:**

La modelación estadística-matemática de la producción de metano permitirá definir un modelo matemático para la producción de metano y obtener los parámetros óptimos de diseño de biodigestores anaerobios, que aplicando las herramientas de la gestión energética permitirá mejorar la administración de la energía y la eficiencia de producción en la UEB Cárnicos Bayamo.

**Objetivo general:**

Determinar el grado de administración de los energéticos y el potencial energético de los residuos sólidos generados para mejorar la eficiencia de producción en la UEB Cárnicos Bayamo.

**Objetivos específicos:**

1. Aplicar los procedimientos del Sistema de Gestión Eficiente de la Energía en la UEB Cárnicos Bayamo.
2. Determinar las potencialidades para la producción energética a partir de los residuos de la producción en la UEB Cárnicos Bayamo
3. Obtener un modelo estadístico-matemático del comportamiento de la producción de metano que caracterice la digestión anaerobia de los residuales en estudio.
4. Calcular y diseñar los parámetros de un biodigestor anaerobio de primera generación para dar tratamientos a los residuales sólidos del procesamiento cárnico.

# **CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

## **1.1 La Gestión Energética**

La Gestión Energética se define como un subsistema de la gestión empresarial que abarca las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial, que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas, a partir de entender la eficiencia energética como el logro de los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético posible y la mínima contaminación ambiental por este concepto.

Por otra parte, se considera que la gestión energética es una metodología o sistema organizado de previsión y control del consumo de energía, con el fin de obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de producción o prestaciones de servicios. Es un proyecto permanente, continuo y cíclico, que comienza por la dirección y es tarea de todos, debe ser medible, donde el resultado óptimo se logra mediante la formación y el éxito reside en el aporte de todo el personal. (Rodríguez, 2008).

Borroto (2002) en su trabajo “Gestión Energética Empresarial” señala que el manejo de la energía y la eficiencia en su utilización recobra importancia desde hace muchos años. Sin embargo, es muy importante señalar que la alta dirección de una organización debe asegurar una adecuada gestión energética a partir de efectuar la aplicación de varios principios, tales como:

- La gestión de la energía no es un sistema documental, sino un procedimiento o metodología de ahorro, que debe contar con un plan de ahorro que desarrolle a su vez un sistema de gestión que garantice la mejora continua a partir de las oportunidades identificadas.
- Para el éxito y la consecución de un ahorro energético es imprescindible la capacitación; el compromiso y la motivación de los directivos y trabajadores de la empresa con el objetivo buscado.
- El costo energético debe controlarse en todas las áreas o departamentos de la organización. Es necesario concentrar los esfuerzos en el control de las

principales funciones o consumos energéticos (procesos productivos, iluminación, entre otros aspectos).

Lo anterior se fundamenta en que los directivos empresariales, con la finalidad de lograr una buena gestión energética, deben establecer objetivos en términos de la elevación del control de los portadores energéticos, obtención del mayor ahorro de la energía, la optimización de las facturaciones, así como la disminución del impacto ambiental. De lo anterior se deducen beneficios de una buena gestión como: ahorrar energía de forma inmediata sin necesidad de realizar inversiones. Como consecuencia de los ahorros energéticos se consiguen ahorros económicos, esto permite la adopción rápida de medidas ante cambios legislativos que supongan ahorro de costos. (Rodríguez, 2008).

### **1.1.1 La Gestión Energética en Cuba**

Es importante abordar el tema de la gestión energética en Cuba, ya que en el país, más que en cualquier otro, es ineludible mejorar el control de los recursos energéticos, así como hacer un uso mucho más racional y eficiente de los mismos, lo que representa un mejoramiento continuo de la eficiencia y de la competitividad en las empresas.

La economía cubana sufre de las embestidas de la crisis en el suministro energético, lo cual se extiende en mayor o menor grado en todos los sectores de la actividad económica. En virtud de las prioridades asignadas a las empresas exportadoras y a los servicios sociales básicos, en cuanto al suministro energético, el impacto sobre el resto de las empresas es severo. Esta situación obliga a la dirección del país a tomar medidas y programas para enfrentar esta crisis, cuyo alcance es global y sectorial. (Rodríguez, 2002).

La administración de energía abarca las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas.

Para orientar adecuadamente la gestión energética se hace necesario utilizar un grupo de conceptos básicos, que facilitarían actualizar la situación inicial de la actividad y la proyección futura, entre estos conceptos se encuentran: diagnóstico

energético, comités de energía, programa de ahorro de energía y técnicas de conservación de la energía, (Gutiérrez, 1993, Borroto 2002, Arrastía, 2008; entre otros)

El diagnóstico energético constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de la empresa, para establecer el grado de eficiencia en su utilización, para identificar las potencialidades de ahorro energético y económico y para definir posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética.

Arrastía (2008) expresa que el diagnóstico energético es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora, con el objetivo de establecer el punto de partida para la implementación y control de un programa de ahorro de energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada, además de especificar cuánta es desperdiciada.

### **1.1.2 Sistemas de Gestión Energética (SGEn).**

Los sistemas de Gestión Energética ofrecen un enfoque sistemático para controlar y reducir el consumo de energía de una organización. Desde hace años los Sistemas de Gestión de la Energía se presentan como una herramienta para optimizar el uso y consumo de energía por parte de cualquier organización, no importa el sector de actividad y tamaño de que se trate.

Los beneficios son muchos y los motivos que mueven actualmente a las organizaciones a poner en marcha un SGEn pueden agruparse en tres principales:

**Ahorrar:** El ahorro energético se presenta actualmente como una materia fundamental en cuanto a competitividad, en un contexto de continuo crecimiento de precios de la energía y los sistemas de gestión de la energía se presentan como la herramienta para la identificación y puesta en marcha de medidas de ahorro de manera continua.

**Sistematizar:** Las organizaciones precisan de una herramienta que les permita sistematizar el modo de identificar y poner en marcha medidas de ahorro, que en



muchas ocasiones se hace de forma puntual y aislada, sin garantizar su continuidad en el tiempo.

**Demostrar:** Las normas de sistemas de gestión y su posible certificación facilitan a las organizaciones demostrar su compromiso con políticas de gestión de la energía que vienen a apoyar políticas más amplias de gestión ambiental, lucha contra el cambio climático o responsabilidad corporativa.

Desde el año 2011, la ISO 50001 es la nueva norma global para los Sistemas de Gestión Energética, esta norma certifica la existencia de un sistema optimizado para el uso correcto de la energía en cualquier organización, sea cual sea su naturaleza o tamaño, su actividad o su dedicación, se basa en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización. En el contexto de la gestión de la energía, el enfoque PHVA puede resumirse la manera siguiente:

**Planificar:** Llevar a cabo la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético (IDEn), los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para lograr los resultados que mejorarán el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización;

**Hacer:** Implementar los planes de acción de gestión de la energía;

**Verificar:** Realizar el seguimiento y la medición de los procesos y de las características clave de las operaciones que determinan el desempeño energético en relación a las políticas y objetivos energéticos e informar sobre los resultados;

**Actuar:** Tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético y el SGE.

Es importante entender los principios en que se basa la norma para enfocar adecuadamente su implantación.

- La norma NO establece requisitos absolutos para el desempeño energético, más allá de los compromisos asumidos en la política energética y del cumplimiento de la normativa de aplicación en cada ámbito.
- NO establece por sí misma criterios de rendimiento con respecto a la energía, siendo la organización quien define el alcance y los límites.

La Norma ISO 50001 establece los requisitos para:

- Establecer una política energética con objetivos concretos.
- Determinar una línea base del uso de la energía, identificando áreas críticas y teniendo en cuenta los elementos significativos en el uso de la energía.
- Disponer de una previsión periódica del uso de la energía, que permita planificar inversiones y mejoras.
- Considerar el uso y consumo de energía en el proceso de diseño y en la adquisición de bienes, equipos y/o servicios.
- Es fácilmente integrable en los sistemas de gestión de la Calidad, Seguridad y Salud y Medio Ambiente existentes, lo que garantiza el ahorro de costes y tiempos necesarios para su puesta en marcha.
- Participación de expertos para revisar el cumplimiento y la eficiencia de su SGEEn.
- Asegurar y verificar la mejora en la gestión y el consumo de la energía del personal de la organización.
- Demostrar a las partes interesadas la credibilidad de su compromiso con la conservación del medioambiente así como la reducción de costes y la rentabilidad asociados al ahorro y la eficiencia energética.

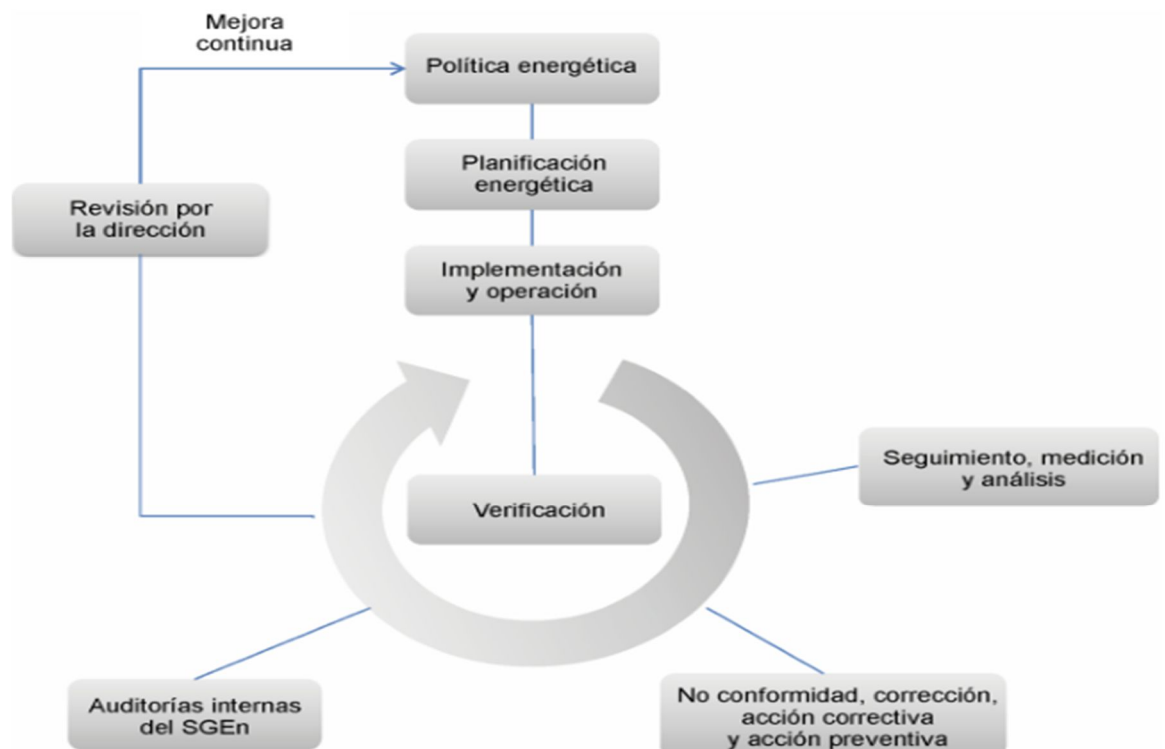
### **Desarrollo e implantación de esta Norma.**

El Modelo de sistema de gestión de la energía para esta Norma Internacional está compuesto por, ver figura 1.1.

- Política energética.
- Planeamiento energético
- Implantación y operación
- Comprobación

**La política energética:** Es el motor para implantar y mejorar un sistema de gestión energética y el desempeño energético dentro de sus límites. La política supone el compromiso con la mejora continua de la eficiencia energética establecido por la dirección de la organización y que puede verse integrado dentro de la Política Ambiental o de gestión de ámbito más global de la organización.

**Implantación y operación:** La implantación comienza con la estructuración de la base documental que pueda existir, elaborando aquellos documentos no existentes, controlando y registrando los existentes y comunicándolos a las personas pertinentes. La concienciación, formación y competencia de estos es fundamental para un correcto desarrollo del SGE. Seguidamente, comienza el control operacional de cada tarea, que puede afectar al diseño, mantenimiento, política de compras y contrataciones, etc.



**Figura 0-1** Modelo de sistema de gestión de la energía para esta Norma Internacional. (ISO 50001).

**Comprobación:** Durante la etapa de comprobación y verificación, que se desarrolla a lo largo del ciclo de certificación, se garantiza la correcta aplicación del SGE. Las tareas fundamentales son:

- Monitorización, medida y análisis: debe establecerse un plan de medida y verificación de consumos energéticos y su procedimiento de seguimiento.
- Consecución de objetivos: análisis de resultados en relación con los objetivos marcados y establecimiento de actuaciones energéticas correctivas.

- Seguimiento de consumos significativos: análisis pormenorizado de los principales consumos identificados en la organización, así como de los indicadores establecidos.

### **Responsabilidad de la dirección.**

La alta dirección debe demostrar su compromiso de apoyar el SGEN y de mejorar continuamente su eficacia:

1. Definiendo, estableciendo, implementando y manteniendo una política energética.
2. Designando un representante de la dirección y aprobando la creación de un equipo de gestión de la energía.
3. Suministrando los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGEN y el desempeño energético resultante.

Los sistemas de gestión son bien conocidos por su capacidad de mejora continua en los campos de la Calidad, Seguridad y Salud y el Medio Ambiente. Sus principios, cuya efectividad está demostrada sobradamente, han sido aplicados para gestionar el uso y consumo de la energía encaminados a la eficiencia energética.

#### **1.1.3 Beneficios de la implantación de un SGEN.**

El beneficio clave que obtiene una organización tras la implantación de un sistema de gestión energética certificado es la mejora de la gestión de la organización, viéndose favorecido por:

- Sistematizar la identificación y puesta en marcha continua de oportunidades de ahorro energético.
- Aumentar la competitividad por ahorro de costes energéticos
- Establecer sistemas de medida del comportamiento energético a través de identificadores de desempeño energético.
- Favorecer el benchmarking entre diferentes centros y organizaciones.
- Apoyar planes de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y lucha contra el cambio climático.

- Favorecer el aumento de la conciencia y el compromiso del personal en el proceso de gestión de la energía
- Recompensar y animar al personal por su compromiso en la reducción de costes y la lucha contra el cambio climático.
- Demostrar a todas las partes (accionistas-inversores-interesados) su compromiso con el medio ambiente al tiempo que reduce los costes y aumenta la rentabilidad.

## **1.2 Gestión Total Eficiente de la Energía.**

Hasta el momento el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha abordado en las empresas de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar parte de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene baja efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y el equipamiento requerido, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos; pero sobre todo, por no contar la empresa con la cultura ni las capacidades técnico administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas.

La entidad que no comprenda esto verá en breve limitadas sus posibilidades de crecimiento y desarrollo con una afectación sensible de su nivel de competencia y de la calidad de los servicios que presta; quedará rezagada respecto a aquellas que preparen sus recursos humanos y creen las capacidades permanentes necesarias para explotar este recurso, de magnitud no despreciable, en sus propias instalaciones. La elevación de la eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí:

- Mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo.
- Tecnologías y equipos eficientes.

Cualquiera de las dos reduce el consumo específico, pero la combinación de ambas es la que posibilita alcanzar el punto óptimo. La primera vía tiene un menor costo, pero el potencial de ahorro es menor y los resultados son más difíciles de conseguir

y mantener, puesto que entrañan cambios en hábitos de consumo y en métodos de gestión empresarial. La segunda vía requiere de inversiones, pero el potencial de ahorro es más alto y asegura mayor permanencia en los mismos.

El alto nivel competitivo a que están sometidas las empresas desde los años 90 les impone cambios en sus sistemas de administración. No es suficiente dirigir desde un núcleo generador de soluciones a los problemas, a través de medidas que compulsen a los hombres y dediquen los recursos a lo que se ha considerado fundamental; se requiere que exista una estrategia, un sistema entendido por todos y con la capacidad para llevarlo a cabo, que garantice la estabilidad de cada resultado en consonancia con la visión que se ha propuesto la Empresa.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa, no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol, y en general, que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza.

Para lograr la eficiencia energética de forma sistemática es necesaria la aplicación apropiada de un conjunto de conocimientos y métodos que garanticen esta práctica. Ellos deben ser aplicados a los medios de trabajo, los recursos humanos, los procesos, la organización del trabajo, los métodos de dirección, control y planificación.

A tal efecto, se ha desarrollado una tecnología para la gestión energética en las empresas, que sintetiza la experiencia, procedimientos y herramientas obtenidas en la labor por elevar la eficiencia y reducir los costos energéticos en la industria y los servicios. (Colectivo de autores. CEEMA. 2002).

### **1.2.1 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE).**

La TGTEE consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de

dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa.

Su objetivo no es sólo diagnosticar y dejar un plan de medidas, sino esencialmente elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa, de forma tal que esta sea capaz de desarrollar un proceso de mejora continua de la eficiencia energética. La TGTEE incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la eficiencia energética. Su implantación se realiza mediante un ciclo de capacitación, prueba de la necesidad, diagnóstico energético, estudio socioambiental, diseño del plan, organización de los recursos humanos, aplicación de acciones y medidas, supervisión, control, consolidación y evaluación, en una estrecha coordinación con la dirección de la empresa.

La TGTEE ha tenido una amplia generalización en empresas del país, demostrando su efectividad para crear en las empresas capacidades permanentes para la administración eficiente de la energía, alcanzando significativos impactos económicos, sociales y ambientales, y contribuyendo a la creación de una cultura energética ambiental.

*La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía incluye:*

- Capacitación al Consejo de Dirección y especialistas en el uso de la energía.
- Establecimiento de un nuevo sistema de monitoreo, evaluación, control y mejora continua del manejo de la energía.
- Identificación de las oportunidades de conservación y uso eficiente de la energía en la empresa.
- Proposición, en orden de factibilidad, de los proyectos para el aprovechamiento de las oportunidades identificadas.
- Organización y capacitación del personal que decide en la eficiencia energética.

- Establecimiento de un programa efectivo de concientización y motivación de los recursos humanos de la empresa hacia la eficiencia energética.
- Preparación de la empresa para auto diagnosticarse en eficiencia energética.
- Establecimiento en la empresa las herramientas necesarias para el desarrollo y perfeccionamiento continuo de la Tecnología.

La TGTEE permite, a diferencia de las medidas aisladas, abordar el problema en su máxima profundidad, con concepto de sistema, de forma ininterrumpida y creando una cultura técnica que permite el auto desarrollo de la competencia alcanzada por la empresa y sus recursos humanos. (Borroto, 2006).

Para aplicar la secuencia de mejoras propuesta por la Gestión Total Eficiente de la Energía, es necesario establecer determinada organización en la empresa que facilite su ejecución, esta organización debe combinar los aspectos propios de una estructura formal o funcional existente, con los de otra de carácter informal no descrita en el organigrama general de la empresa, que permite gran flexibilidad al operar.

### **1.3 La responsabilidad ambiental y el tratamiento de los residuales generados en las plantas procesadoras de cárnicos.**

Las plantas de procesamiento de cárnicos no solo producen carnes y embutidos, sino también residuos; por tanto, es una necesidad tratar los residuales, para una disposición final segura de acuerdo con la Ley No. 81 del Medio Ambiente (1997). Por eso, se debe planificar y construir un apropiado sistema de tratamiento de residuales; considerado, además, los gastos de mantenimiento y operación de la planta. El objetivo principal de todo sistema de tratamiento de aguas residuales es la disminución de los microorganismos patógenos, con el fin de prevenir la transmisión de enfermedades, y de reducir los indicadores de contaminación , como son: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos totales (ST), los sólidos volátiles (SV), los sólidos sedimentables totales (SST), el pH, y los microorganismos (huevos de helmintos y coliformes fecales) (Zglobisz *et al.*, 2010).



Cada planta de procesamiento de cárnicos debe conocer la Norma Cubana de vertimiento a los cuerpos receptores (NC 27:99), con vistas a cumplir las regulaciones vigentes para los indicadores antes mencionados. En la Tabla 1.1, se muestran los límites máximos permisibles promedio de vertimiento de las aguas residuales y en la Tabla 1.2 se muestra los valores aceptados para la descarga de aguas residuales.

Tabla 0-1 Límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor (Cubana, 1999)

Parámetros	UM	Ríos y embalses			Acuífero. Vertimiento en suelo y zona saturada a 5 metros			Acuífero. Vertimiento directo a la zona saturada		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
pH	U	6,5 – 8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-9
Conductividad Eléctrica	Os/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos sedimentables	ml/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0,5	1,0	5,0
Totales										
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kendjal)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

### 1.3.1 Generación de residuos en las plantas procesadoras de cárnicos.

En las plantas procesadoras de cárnicos, los residuos son representados en su gran mayoría por corrientes de los procesos del desangrado y la evisceración. Estos residuos contienen sangre, estiércol, rumen, pelos, grasas y huesos. En general, los efluentes presentes contienen microorganismos patógenos y altas concentraciones de compuestos orgánicos. También contienen un contenido importante en sólidos en suspensión, grasas, proteínas, azúcares, especias, aditivos, detergentes y desinfectantes. Del mismo modo, se pueden encontrar restos de piel y otros tipos de tejidos. El agua usada en la cocción acarrea mucha grasa disuelta, debido a sus altas temperaturas, que al enfriarse, la grasa se solidifica y puede generar problemas en las tuberías de evacuación (Castillo, 2013).

Tabla 0-2 Valores aceptados para la descarga de aguas residuales (N. Cubana, 1999).

<b>Categoría del cuerpo Receptor</b>	<b>Coliformes totales (NMP/100 ml)</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>	<b>Relación CT/CF (%)</b>
A (superficial)	1 000	200	20
A (subterráneo)	100	20	20
B (superficial)	5 000	1 000	20
B (subterráneo)	250	50	20
C (superficial)	(1)	(1)	(1)
C (subterráneo)	(1)	(1)	(1)

El límite lo fijará el organismo rector de las aguas terrestres atendiendo al uso, necesidad de conservación y posible riesgo para la salud.

#### **1.4 El proceso de digestión anaerobia.**

La digestión anaerobia es una fermentación en la que los residuos orgánicos son descompuestos en ausencia de oxígeno para producir biogás. Para que exista, deben desarrollarse bacterias anaeróbicas, y sobre todo bacterias metanogénicas, las cuáles son las que producen el biogás. Estas bacterias se pueden encontrar en líquidos ruminales (contenido del estómago de vacas, ovejas, cabras, etc.), en guanos de cerdos y rumiantes, en lodos de tratamiento de efluentes y de otros biodigestores (Khalid *et al.*, 2011).

El biogás, que es una limpia y renovable forma de energía, es un buen sustituto (especialmente en las zonas rurales) de las fuentes convencionales de energía (combustibles fósiles) (Santosh *et al.*, 2004). La composición típica del biogás es 55 – 70 % de metano (CH<sub>4</sub>), 30 – 45 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0 – 2 % de nitrógeno (N) y trazas de otros compuestos, como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), denominado también ácido sulfhídrico. Entre estos compuestos, el metano es el más importante desde el punto de vista de combustión. Es una invaluable fuente de energía renovable, pero también es un importante gas de efecto invernadero. El metano producido de la digestión anaerobia presenta entre 4800 – 6700 kcal m<sup>-3</sup>, el cual es cercano a los 8900 kcal m<sup>-3</sup> obtenida con la energía del metano puro (Rasi *et al.*, 2007).

El biogás puede ser utilizado como combustible para los motores de combustión interna, las turbinas de gas, las celdas de combustible, los calentadores de agua,

calentadores industriales, entre otros muchos procesos. También, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de electricidad, donde la eficiencia de conversión global está alrededor de 10 – 16 % (Demirbas *et al.*, 2011).

#### **1.4.1 Productos finales del proceso de digestión anaerobia.**

Antes de proceder con una breve descripción de los productos finales de la digestión anaerobia, se realizará una pequeña explicación sobre los términos: reactor, biodigestor y fermentador anaerobio. Los tres términos indican la misma cosa. En el proceso anaerobio las bacterias degradan o digieren el sustrato orgánico (contaminante), liberando metano, dióxido de carbono, entre otros gases. El término digestión anaerobia está basado en ese hecho. El proceso anaerobio libera gases (biogás) debido a la acción de los microorganismos que ayudan a la fermentación. De ahí es que también lo nombren “fermentación anaerobia”. Por eso, el recipiente en donde ocurre el proceso de digestión anaerobia es comúnmente llamado “reactor anaerobio”. Un “biodigestor anaerobio” es lo mismo que decir un reactor anaerobio. El término biodigestor anaerobio es utilizado principalmente para la producción de biogás como nombre distintivo, diferente a los sistemas anaerobios los cuáles primariamente son utilizados para el tratamiento de aguas residuales, y el biogás sería un subproducto del proceso (Abbasi *et al.*, 2012).

El biogás como cualquier otro combustible gaseoso, puede ser usado para fines domésticos e industriales. El biogás presenta un adecuado valor calorífico, aunque un poco inferior comparado con otros gases combustibles industriales (Tabla 1.3). Diversos dispositivos son utilizados para aprovechar el biogás, como: estufas, lámparas, calentadores radiantes y combustible para motores diesel o gasolina (Arboleda, 2009).

El biogás debe ser refinado previamente en cualquiera de sus aplicaciones energéticas. En este sentido, las operaciones de depuración varían en función del uso del biogás; los requerimientos de calidad son mayores cuando se utiliza como combustible en automóviles. La purificación del biogás incluye la eliminación de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, agua y partículas sólidas (Agrowaste, 2014).

Tabla 0-3 Comparación de varios valores caloríficos para diferentes tipos de combustibles (Hill et al., 2011; MNRE, 2012).

Combustible	Valor calorífico (VC) Aproximado	Factor de emisión indirecta (kgCO <sub>2</sub> /GJ, en base al CV neto)
Petróleo	10 800 kcal kg <sup>-1</sup>	12,51
Gas natural	8 600 kcal m <sup>-3</sup>	5,55 <sup>a</sup>
Gas licuado natural	13 140 kcal kg <sup>-1</sup>	20,00
Gas licuado de petróleo	10 800 kcal kg <sup>-1</sup>	8,00
Keroseno	10 300 kcal kg <sup>-1</sup>	13,34
Diesel	10 700 kcal kg <sup>-1</sup>	14,13
Gas natural comprimido	8 600 kcal kg <sup>-1</sup>	8,36
Biogás	5 000 kcal kg <sup>-1</sup>	0,246 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mezcla de gas natural de la Unión Europea

<sup>b</sup> Emisiones directas de CO<sub>2</sub> (factor de emisión, gCO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>)

#### 1.4.2 Algunas experiencias en el tratamiento anaerobio de los residuales de las plantas procesadoras de cárnicos.

Recientes avances en el diseño de nuevas tecnologías para la digestión anaerobia han hecho posible tratar una amplia diversidad de residuos. Cuando las condiciones de operación de una planta de tratamiento son cuidadosamente operadas y optimizada la digestión anaerobia sobrepasa los resultados de otros métodos de tratamiento (Salminen y Rintala, 2002a). Sin embargo, hasta el momento, la cantidad de biodigestores tratando residuales generados en las plantas procesadoras de cárnicos es muy limitada. Un resumen se muestra en la Tabla 1.4.

Tabla 0-4 Algunas experiencias en el tratamiento anaerobio de aguas residuales de mataderos.

Substrato	Temperatura (°C)	Tiempo de retención hidráulica (d)	Carga orgánica aplicada	Producción de metano	Referencia
Restos estomacales de ganado + sangre + agua residual	-	43	0.36 kgDQO <sub>1</sub> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0.18 m <sup>3</sup> <sub>1</sub> kgDQO <sup>-1</sup>	Banks (1994)
Residuos sólidos	35	50	0.8 kgSV m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0.52 – 0.55 m <sup>3</sup> kgSV <sup>-1</sup>	Salminen y Rintala (2002a)
Rumen	37	10-20	5 %ST	0.5 – 0.8 m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> m <sup>3</sup> <sub>reactor</sub>	López y Borzacconi (2010)
Restos porcinos	35	30	2.25 kgSV m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0.7 m <sup>3</sup> kgSV <sup>-1</sup>	Bayr et al. (2012)

No obstante, los residuos generados en las plantas procesadoras de cárnicos constituyen una importante fuente de material energético cuando los residuales son utilizados para la producción de biogás (Wymyslowski et al., 2010).

### 1.4.3 Codigestión anaerobia de residuos de las plantas procesadoras de cárnicos.

En el proceso de codigestión anaerobia, es importante considerar los efectos de los residuos a combinar; ya que un óptimo mezclado de los diferentes residuos mejoraría el funcionamiento de la digestión, un mejor manejo del bioreactor, una reducción de los efectos de los compuestos tóxicos en el proceso de digestión anaerobia y una alta producción de biogás (Murto *et al.*, 2004).

La codigestión anaerobia de estiércol y residuos orgánicos industriales, entre los que se incluyen residuos de mataderos ha sido reportada en Dinamarca en pequeños biodigestores para producir biogás (DIAFE, 1999). Por otro lado, en Suecia también ha sido reportada la codigestión de estiércol con residuos sólidos, incluyendo, sangre, grasas, y contenido visceral y estomacal. Un resumen de esos estudios se muestra en la Tabla 1.5.

Tabla 0-5 Resumen de algunos trabajos reportados sobre la codigestión anaerobia de residuos generados en plantas procesadoras de cárnicos.

Substrato	Temperatura (°C)	Tiempo de retención hidráulica (d)	Carga orgánica aplicada	Producción de metano	Referencia
Codigestión de contenido estomacal + estiércol	37	15 – 17	1.5 - 2.9 kgST m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0.23 – 0.32 m <sup>3</sup> kgST	Rosenwinkel (1999)
Codigestión de estiércol, residuo de matadero + restos de animales	-	25	2.5 kgSV m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	-	(Ling, 1997)

### 1.4.4 Optimización del proceso de codigestión anaerobia.

Como se ha discutido anteriormente, la codigestión es una apropiada opción para mejorar el rendimiento del proceso de digestión anaerobia de los residuos agrícolas. Esto es, con el uso de un adecuado co-sustrato se puede mejorar el rendimiento de producción de biogás, debido a los efectos sinérgicos positivos por proveer de nutrientes al medio; además de una utilización eficiente del equipamiento y costes de operación. La digestión anaerobia de estiércoles animales con varios residuos ha

sido reportado anteriormente, con un particular interés con la codigestión de residuos agroindustriales (Gupta *et al.*, 2012). Aunque se hayan realizado algunas investigaciones con el objetivo de usar los residuales generados en el procesamiento de cárnicos para la reducción de la contaminación y la producción de biogás; sin embargo, todavía son limitados los reportes investigando el efecto de la codigestión con estos residuales con otros substratos. Los residuales cárnicos ofrecen oportunidades para ser utilizados como substratos para bioprocesos; no obstante, todavía deben de realizarse estudios en esta área. La optimización usando los diseños de superficie de respuesta pueden ser útiles en la selección de los parámetros que influyen en la codigestión anaerobia.

### **Diseños de optimización por superficie de respuesta.**

El diseño de experimentos permite investigar todos los efectos que influyen un proceso determinado, utilizando un tamaño mínimo de experimentos (Jiménez *et al.*, 2015). Básicamente la optimización involucra los siguientes pasos principales: i) selección de las variables y definir su rango de variación; ii) selección de las respuestas; iii) seleccionar una estrategia correcta de diseño; iv) organizar y ejecutar de forma aleatoria el orden del experimento diseñado; v) determinar los coeficientes en un modelo matemático; y finalmente iv) predecir la respuesta y chequear la adecuación del modelo (Wang y Wan, 2009). Esta adecuada estrategia experimental presenta las siguientes ventajas: i) conocer exactamente como los experimentos serán realizados, y cuál es la información a buscar; ii) se puede conocer mejor sobre las posibles interacciones entre las variables seleccionadas; iii) analizar los resultados mediante un modelo, el cual nos permite predecir qué pasa en alguno de los experimentos dentro del rango evaluado; y iv) poder sacar conclusiones sobre la significancia de los efectos observados, y así poder diferenciar entre los efectos significativos y las variaciones aleatoria (Sreela-or *et al.*, 2011). Por todas esas razones, los métodos del diseño experimental por superficie de respuesta han sido aplicados en varios problemas de ingeniería para estudiar y mejorar su funcionamiento, y buscar las variables óptimas del proceso (de Castro y Sato, 2013).

## **Diseños de mezclas.**

Los diseños de mezclas son una clase especial de diseños de superficie de respuesta (DSR) donde las proporciones de los componentes o factores son considerados importantes. Este diseño involucra el uso de diferentes combinaciones entre los componentes para cambiar la composición de una mezcla, y explorar como los cambios afectarán una respuesta específica (Rao y Baral, 2011b).

Un diseño mezcla es una clase especial de experimento en el cual la respuesta depende solamente de las proporciones relativas de los factores (ingredientes) y no de sus cantidades absolutas. Se aplican a productos que comprenden una mezcla de dos o más ingredientes para optimizar el desempeño de varias combinaciones. Por ejemplo, si se considera una combinación en el cual  $q$  componentes pueden ser mezclados juntos en distintas proporciones, la suma de los  $q$  componentes está obligada a ser igual a un valor fijo (Ec. 1.1).

$$\sum_{j=1}^q x_j = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1; \quad x_j > 0; j = 1, 2, 3, \dots, q$$

(1.1)

Dónde:  $X_j$  es la cantidad del componente  $j$  en la mezcla;  $T$  es la cantidad fija, que usualmente es el 100 %, en el cual cada componente está sujeto a límites inferiores  $L_j$  y superiores  $U_j$ , siendo de forma simple  $L_j = 0$  % y  $U_j = 100$  %, o en algunos casos con más restricciones.

$$L_j \leq X_j \leq U_j$$

(1.2)

Existen tres tipos fundamentales de diseños de mezclas: i) diseños simplex-lattice; ii) simplex-centroide; y iii) vértices extremos. Las características fundamentales de estos diseños se resumen a continuación (Statgraphics, 2000):

### **1.5 Diseño y construcción de biodigestores anaerobios de primera generación.**

Los digestores anaerobios para la producción de biogás, los cuáles son muy utilizados en la India, China, entre otros países, son aquellos en que los microorganismos anaerobios se encuentran sedimentados o en suspensión, con un

mínimo de contacto con el sustrato. Estos reactores no son altamente eficientes desde el punto de vista de la degradación de residuos, pero su sencillez constructiva, y operacional así como puesta en marcha los hacen más apropiados para obtener biogás a partir de residuos agropecuarios fundamentalmente (Gupta *et al.*, 2012). Por eso, han dado origen a muchas variantes de digestores que aunque funcionan bajo el mismo principio se han adaptado a las condiciones locales y culturales de los usuarios con el objetivo de suplir sus necesidades ambientales y energéticas.

En estos sistemas, el biogás que es generado continuamente es temporalmente almacenado en una cúpula fija (diseño chino) o en una cúpula flotante (diseño indú), donde el biogás es extraído para su uso usando una tubería conectada en la parte superior de la cúpula. En el lenguaje de la ingeniería química, estos sistemas son llamados reactores en modo semi-continuos o “*semibatchreactors*” y/o reactores de baja mezcla “*poorlymixedreactors*” (Paul *et al.*, 2004), con un tiempo de retención hidráulico que varía entre 20 - 30 días.

### **1.5.1 Tipos de biodigestores anaerobios.**

Atendiendo a su construcción los biodigestores anaerobios de primera generación se clasifican en: i) biodigestores anaerobios de cúpula flotante; ii) de bolsa elástica; y iii) de cúpula fija. Las características principales de cada uno de esos biodigestores se presentarán a continuación:

#### **Biodigestor anaerobio de cúpula flotante.**

Este tipo de biodigestor, también conocido como biodigestor “modelo hindú”. Cuando no hay biogás acumulado, la cúpula flota, bien en una camisa de agua que rodee al biodigestor o directamente en la suspensión a digerir. Cuando el biogás se produce, el tambor, que está montado sobre un bastidor de guía móvil, va ascendiendo conforme aumenta la presión del gas sobre él.

La cúpula puede ser de metal, hormigón o plástico. Además, el biodigestor está compuesto por un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica, que puede construirse de piedra, ladrillo u hormigón. Al igual que el biodigestor de cúpula fija, la suspensión fluye hacia abajo por la tubería de entrada y llega a la parte inferior del



biodigestor. Hay una capa de biosólidos en la parte inferior y una capa de efluentes líquidos por encima de eso (Figura 2).

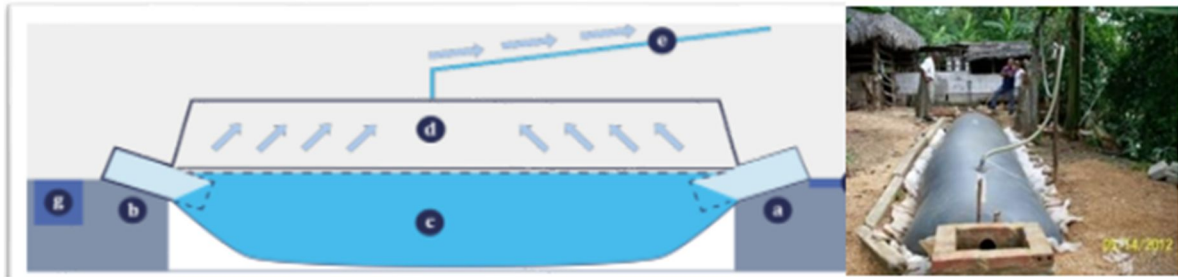


**Figura 0-2**Biodigestor anaerobio de cúpula flotante y detalles de la cúpula.

Una de las ventajas de este biodigestor frente al modelo chino es que el operador puede ver y entender mejor cómo funciona el biodigestor ya que la cúpula se eleva y desciende, respectivamente, con la mayor o menor presión del gas. Otra de las ventajas de estos biodigestores es que son fáciles de operar, y que la presión del gas es más fácil de mantener en este diseño. No obstante, las principales desventajas son: i) la cúpula cuando es construida de acero, los costes de construcción se encarecen, además de requerir un mantenimiento frecuente; ii) la vida útil es de entre 5 - 15 años; iii) el tambor puede atorarse en la guía del bastidor, requiriendo un continuo mantenimiento.

### **Biodigestor anaerobio de bolsa elástica.**

En la actualidad se han construido nuevos diseños que han logrado disminuir considerablemente los costes iniciales de los biodigestores. El limitante económico motivó a buscar nuevos tipos de biodigestores con materiales flexibles, que suponían un coste menor. Una de estas instalaciones son los biodigestores de bolsas elásticas. Este sistema puede tener distintas configuraciones, pero el modelo más común es en forma de gusano o en forma de saco. Los componentes fundamentales de este biodigestor son: i) una bolsa elástica de película delgada (comúnmente de polietileno), capaz de soportar las presiones normales de trabajo del biogás, y ii) otros accesorios, tales como: válvulas de corte, de seguridad, tuberías y adaptadores (Fig.1.3).



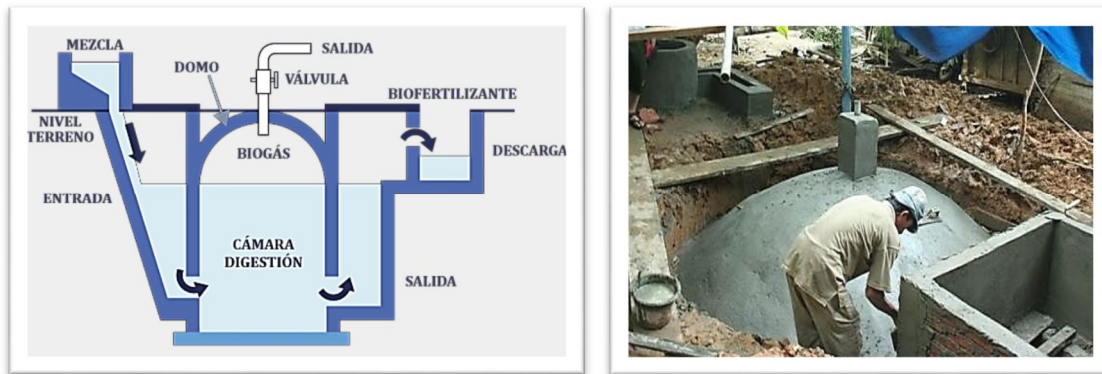
**Figura 0-3** Esquema de un biodigestor de bolsa elástica. a) Tubería de carga; b) tubería de descarga; c) cámara de digestión; d) almacenamiento de biogás; e) tubería de salida del biogás; g) disposición de lodos.

Este tipo de instalación es muy económica, el costo de un biodigestor es cercano a los 50 USD/por cada cuatro personas. Entre sus principales desventajas se encuentra su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada 3 - 5 años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, y por las acciones del hombre y los animales.

### **Biodigestor anaerobio de cúpula fija.**

El biodigestor anaerobio de cúpula fija, el cual también es conocido como biodigestor “modelo chino”, consta de un compartimento subterráneo y una cúpula fija para el almacenamiento del biogás (Figura 4). La estructura de pieza única reduce la complejidad del mantenimiento. El biogás es almacenado dentro del biodigestor creando un aumento gradual de la presión. A medida que la presión del gas aumenta por encima del punto de equilibrio, ésta desplaza el lodo digerido desde la parte inferior hacia tubo de salida del biodigestor y de ahí al depósito de recogida. La masa de lodo, que se ha reducido respecto a la del residuo alimentado, se acumula en el depósito de recogida que debe vaciarse cuando se llena.

Los biodigestores de cúpula fija suelen estar contruidos con materiales locales (bloques de concreto y/o ladrillos de barro), y deben ser impermeables a los gases. Se construyen dentro de un agujero cavado en el suelo, que protege la estructura y proporciona aislamiento. La mampostería se sella con una pintura de polímero para que haya estanqueidad en el interior del biodigestor.



**Figura 0-4** Biodigestor anaerobio de cúpula fija y detalles de construcción de la cúpula.

Las principales ventajas de los biodigestores de cúpula fija son: i) no presentan partes móviles; ii) Los costes de inversión, operación y mantenimiento son relativamente bajos, aunque un poco superiores a otras tecnologías disponibles; iii) La vida útil de diseño es de unos 20 años; aunque otros autores que predicen una durabilidad entre 20 – 50 años, siempre y cuando que se realice un mantenimiento sistemático. Por otro lado, las principales desventajas de estos biodigestores son: i) la necesidad de sellados especiales; ii) se requiere elevados conocimientos técnicos para su construcción; iii) las presiones de gas fluctúan a medida que el biogás es consumido.

### 1.5.2 Dimensionamiento de los biodigestores anaerobios.

Para el correcto dimensionamiento de un biodigestor anaerobio se requiere conocer los factores siguientes: i) demanda energética del usuario; ii) cantidad de biomasa disponible; iii) temperatura media del lugar; iv) y la producción específica de biogás según la biomasa disponible. El conocimiento de estos factores permite dimensionar el volumen requerido del biodigestor, el volumen del almacenamiento del biogás y el volumen del tanque de compensación.

Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son:

a) *Cocinas*: Se emplea con una presión entre 75 – 90 mm de columna de agua (735,7 – 931,9 Pa), a razón de un caudal de  $0,38 - 0,42 \text{ m}^3_{\text{persona}} \text{ día}^{-1}$ .

b) *Alumbrado*: Si se utiliza una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W), esta consume entre 0,11 - 0,15 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de biogás, requiriendo una presión de 70 – 85 mm.c.d.a (686,7 – 833,8 Pa).

c) *Calderas*: En dependencia del tamaño del quemador, los consumos de biogás serán: Diámetro del quemador 50 mm: 0,32 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; Diámetro del quemador 100 mm: 0,46 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; Diámetro del quemador 150 mm: 0,63 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

d) *Motores de combustión interna*: El biogás es un combustible apropiado para motores, tanto de gasolina como diésel. Sólo se registra una ligera disminución de la potencia y el motor trabaja algo más caliente que con el combustible líquido. Si se dotan de un mezclador de aire-gas adecuado, los motores de gasolina pueden trabajar con 100 % de biogás, sin necesidad de gasolina, incluso en el arranque. No ocurre lo mismo con los motores diésel, debido a que la temperatura al final de la carrera de compresión no es superior a los 700 °C, y la temperatura de ignición de la mezcla aire-biogás es de 814 °C, por lo que se hace necesaria la inyección de una pequeña cantidad de combustible diésel antes de finalizar la carrera de compresión del pistón, para obtener la ignición de la mezcla y asegurar el funcionamiento normal del motor. En condiciones óptimas se logra economizar entre 70 y 85 % del combustible diésel, sustituyéndolo por biogás. El consumo en los motores es de 0,45 - 0,54 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> por caballo fuerza (HP) de carga (0,60 - 0,70 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> kW<sup>-1</sup>), con una presión entre 25 – 100 mm.c.d.a (245,2 – 981,0 Pa).

e) *Soldaduras*. La temperatura de una llama de oximetano es de alrededor de 3 000 °C, o sea, 250 °C menor que la llama oxiacetilénica. La temperatura de la llama oxibiogás está en dependencia del porcentaje de metano del biogás, por lo que no sería aplicable a las soldaduras ferrosas; aunque sí puede utilizarse para soldar aleaciones de latón, cobre y bronce.

Por otra parte, la demanda energética de biogás también puede estimarse según los parámetros expuestos en la Tabla 1- 6.

**Tabla 0-6** Demanda energética de los usuarios.

<b>Equipo</b>	<b>Consumo</b>
Cocina (1 quemador)	150 – 200 L h <sup>-1</sup>
Lámpara de iluminación	120 – 200 L h <sup>-1</sup>
Refrigerador doméstico	50 – 100 L h <sup>-1</sup>
Motor de combustión	500 L h <sup>-1</sup> HP
Cocina industrial	1 000-3 000 L h <sup>-1</sup>
Consumo por persona (1 comida)	150-300 L d <sup>-1</sup>
Consumo por vivienda (5 personas y 2 comidas)	1 500-2 400 L d <sup>-1</sup>

Algunos de los índices de consumo que también pueden tomarse como base de cálculo, cuando el biogás se utiliza en cocinas, los cuáles se exponen en la Tabla 1. 7.

**Tabla 0-7** Índices de consumo de biogás según el tipo de cocina y su uso.

<b>Tipo de uso</b>	<b>consumidores/usuario/día</b>
Cocina colectiva (almuerzo)	0,20
Cocina colectiva (almuerzo y cena)	0,30
Cocina individual (uso doméstico)	0,45

Una de las materias orgánicas más utilizadas es el estiércol fresco de ganado vacuno, que contiene alrededor de 16 % de material sólido y 84 % de agua, el cual se recomienda mezclar en proporción 1:1 con agua. Por tanto, el cieno de fermentación para introducir en una planta de biogás tendría entonces un 8 % de material sólido y 92 % de agua. Algunos índices de consumo a partir de las biomásas más utilizadas y disponibles en Cuba para la producción de biogás se exponen en la Tabla 1- 8.

Es importante considerar que el estiércol de cada lugar tiene sus características propias debido a la variación de la alimentación, manejo y raza de los animales, tiempo de estabulación, existencia de piso de hormigón en los establos o cochiqueras, etcétera. Todo esto indica la necesidad de realizar mediciones, en el lugar, del volumen y las características del estiércol generado.

Como se ha indicado anteriormente, el rango en que se desarrollan las bacterias metanogénicas es de 35 – 55 °C (temperatura óptima entre 30 – 35 °C), por lo que

para el clima cubano, con temperatura promedio anual de 25 °C, algunos autores aplican un factor de corrección de 1,3 en el cálculo del volumen necesario de digestión. Una vez predeterminado el volumen del biodigestor, se procede a calcular el volumen de diseño, con dos posibles partidas: i) tratar todo el residual y obtener los subproductos que de ello se derive; ii) y tratar solamente la parte del residual que garantice la energía que se requiera (Guardado, 2007).

Tabla 0-8. Índices promedios de producción de biogás a partir del peso y las características de la biomasa.

Tipo de animal	Excreta húmeda diaria. (kg/animal)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /día)	Proporción excreta-agua	Tiempo de retención hidráulica probable (día)
Vaca	10	0,360	1:1	40
Toro	15	0,540	1:1	40
Cerdo (50 kg)	2,25	0,101	1:1 – 3	40
Pollo	0,18	0,108	1:1 – 8	30
Caballo	10	0,300	1:1 – 3	30
Carnero	2	0,100	1:1 – 3	40
Ternero	5	0,200	1:1	40
Persona adulta	0,40	0,025	1:1	60
Cachaza	0,035 kg/kg	0,100	1:4	30
Residual de	(1 m <sup>3</sup> biogás / 25 kg de residuos)			40
Residual de destilería	(15 m <sup>3</sup> biogás / m <sup>3</sup> de residuos)			40
Residual de levadura	(4 m <sup>3</sup> biogás / m <sup>3</sup> de residuos)			40
Líquido del café	(5 m <sup>3</sup> biogás / m <sup>3</sup> de residuos)			40
Cáscara de café	(0,1 m <sup>3</sup> biogás / m <sup>3</sup> de residuos)			50
Cáscara de café	(0,4 m <sup>3</sup> biogás / 25 kg de materia sea)			60

## **CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.**

El trabajo se realizó en la UEB Cárnicos Bayamo, la cual pertenece a la provincia Granma, para su desarrollo se aplicó la primera etapa de La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE), para detectar los principales consumos asociados al proceso de producción, así como detectar el proceso en el cual se generan los mayores consumos energéticos.

La UEB cárnicos Bayamo se encuentra ubicada en carretera vía Manzanillo, Km 4 ½, reparto Latinoamericano, Bayamo, Granma. Esta se subordina al Grupo empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA) del Ministerio de la Industria Alimenticia MINAL. Esta UEB es la encargada de satisfacer las necesidades alimentarias que demanda el mercado; produciendo y comercializando carne fresca (de res y cerdo), en conservas (no herméticas) y otros derivados.

La empresa produce y comercializa carnes frescas y carnes en conservas en cuatro surtidos fundamentales.

- Ahumados.
- Salados.
- Embutidos.
- Otras carnes en conservas y masa cárnica.

### **2.1 Comportamiento energético de la UEB Cárnicos Bayamo.**

La caracterización energética de la empresa se realiza basada en el método analítico - matemático, según aparece en la Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía (TGTEE) planteada según CEEMA (2002).

#### **2.1.1 Etapas en la implementación de un sistema de gestión energética.**

En general, en todos los sistemas de gestión energética o de administración de energía se pueden identificar tres etapas fundamentales: Análisis preliminar de los consumos energéticos, formulación de un programa de ahorro y uso racional de la energía, y el establecimiento de un sistema de monitoreo y control energético. Debe señalarse que en muchos casos la administración de energía se limita a un plan de

medidas de ahorro de energía, no garantizándose el mejoramiento continuo. (Monteagudo y Gaitan, 2005).

### **Actividades.**

- Recopilación de información y datos.
- Diagnóstico de recorrido en las instalaciones de la empresa.
- Entrevistas a dirigentes, técnicos, operadores y obreros de la empresa.
- Procesamiento de la información.
- Elaboración del Informe Final de la Prueba de la Necesidad.

### **2.1.2 Herramientas para establecer un sistema de gestión total eficiente de la energía.**

El objetivo de utilizar estas herramientas es que, permiten implementar las secuencias propuestas para la tecnología, por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas. Las básicas son aquellas que se sustentan en métodos estadísticos simples, que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular determinando así la causa de los problemas. Las herramientas medias y las de avanzada deben ser conocidas y manejadas por los integrantes del grupo de gestión de mejora ya que requieren de cierto nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación.

#### **Herramientas Básicas.**

El propósito de utilizar estas herramientas es que a partir de datos de consumo y producción suministrados por la empresa, se puedan generar, por una parte las condiciones de operación típicas para la empresa, y por otra, indicadores de comparación. Las básicas son aquellas que debe conocer todo miembro de un círculo o grupo de calidad y se basan en métodos estadísticos que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular detectando las causas de los problemas. También permiten realizar una serie de observaciones de un mismo problema como diferentes ángulos fotográficos que crea una visión más completa del mismo. (Restrepo, 2003).



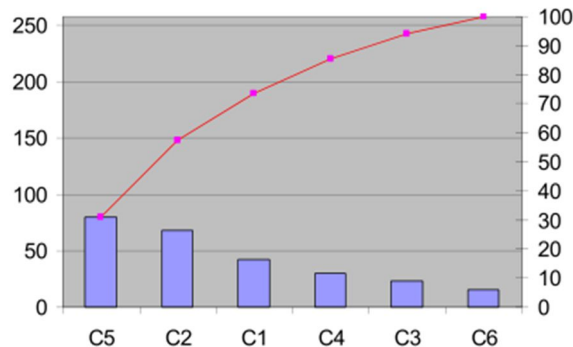
El empleo de estas herramientas básicas, sigue el principio de Pareto, de ahí que unas pocas de ellas, permiten resolver la mayor parte de los problemas. Las herramientas básicas fundamentales son las siguientes:

Diagrama de Pareto.

- Histograma.
- Diagrama causa y efecto.
- Diagrama de dispersión.
- Estratificación.
- Gráficos de control.

### Diagrama de Pareto.

Este está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles. Ley 80-20 que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20%) que generan la mayor parte del efecto (80%). En otras palabras, del total de problemas que causan la baja o no deseada eficiencia energética de una empresa, solo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad, y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.



**Figura 0-1**Diagrama típico de Pareto.

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total. (Borroto; 2006).

Es utilizado básicamente para: Conocer el factor o factores más importantes en un problema, determinar las causas raíz del problema, decidir el objetivo de mejora y los elementos que se deben mejorar, y conocer si se ha conseguido el efecto deseado. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, gas, combustibles) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto.

### **Histograma.**

El histograma es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confeccionan mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical.

El histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupa el mayor número de observaciones y con frecuencia decreciente a ambos lados del mismo, este se define como “distribución normal”. El histograma permite: obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema, mostrar el resultado de un cambio del sistema, identificar anomalías examinando la forma y comparar la variabilidad con los límites de especificación.

### **Estratificación.**

El propósito de la Estratificación es similar al Histograma, pero ahora clasificando los datos en función de una característica común que permite profundizar en la búsqueda y verificación de las causas a encontrar, resolver o eliminar.

## **Diagrama energético – productivo.**

Esta herramienta consiste en desarrollar el flujograma del proceso productivo, agregándole todas las entradas y salidas de materiales (incluidos residuos) y de energía, con sus magnitudes características para los niveles de producción típicos de la empresa. También en el diagrama se muestran los niveles de producción de cada etapa, así como entradas externas al proceso de materiales semiprosesados si los hubiera. Es conveniente expresar las magnitudes de la energía consumida en cada etapa del flujograma por tipo de energía consumida y en porcentaje con respecto al consumo total de cada tipo. (Monteagudo y Gaitan, 2005).

### **Utilidad del Diagrama Energético – Productivo**

- Muestra la relación entre las diferentes etapas del proceso productivo y las etapas mayores consumidoras por tipo de energético.
- Muestra donde se encuentran concentrados los rechazos de materiales y los efluentes energéticos no utilizados.
- Muestra las posibilidades de uso de efluentes energéticos en el propio proceso productivo.
- Muestra las posibilidades de cambio en la programación del proceso o introducción de modificaciones básicas para reducir los consumos energéticos.
- Facilita el establecimiento de indicadores de control por áreas, procesos y equipos mayores consumidores.
- Permite determinar la producción equivalente de la empresa.

### **Gráficos de Control:**

Un proceso de control es aquel cuyo comportamiento con respecto a variaciones es estable en el tiempo. Los gráficos de control se utilizan en la industria como técnica de diagnóstico para supervisar procesos de producción e identificar inestabilidad y circunstancias anormales.

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Se usan

como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas, causa y efecto, para detectar en cuáles fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio  $M$  del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro caen bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente nulo para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar del valor medio. Este comportamiento (que debe probarse en caso que no exista seguridad que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado.

### ***Criterios para determinar la estabilidad del proceso.***

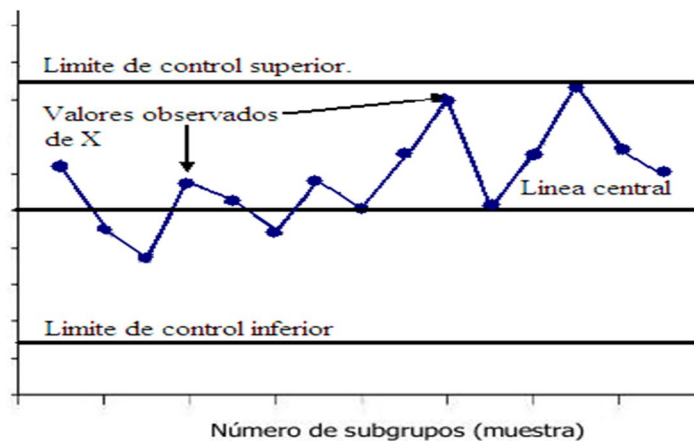
Un proceso es estable cuando cumple los siguientes criterios:

No hay puntos fuera de los límites de control (si un punto está en el mismo límite de control se considera que está fuera).

No hay pautas de distribución anormales.

#### ***Evaluación de pautas de distribución anormales.***

**Secuencia:** Si existe una secuencia continua de puntos en un solo lado la línea de centro, entonces puede haber cambiado el valor medio de la distribución. Si hay siete o más puntos consecutivos, entonces puede juzgar que el valor medio de la distribución ha cambiado hacia el lado de la línea de centro en que se encuentran los puntos consecutivos (Figura 2.2).



**Figura 0-2** Gráfico de control

1. **Sesgo:** Si no coinciden 7 puntos consecutivos a un lado de la línea, pero existen una gran cantidad de puntos no consecutivos de un lado de la línea. Asumir que existe anomalía cuando en un solo lado de la línea se encuentran: 10 de 11 puntos no consecutivos seguidos; 12 o más de 14 puntos no consecutivos seguidos; 14 o más de 17 puntos no consecutivos seguidos; 16 o más de 20 puntos no consecutivos seguidos.
2. **Tendencia:** Se considera tendencias a un ascenso o caídas sostenidas en la posición de los puntos. Una tendencia consistente en 7 o más puntos que suben o caen (independientemente de que lado de la línea se encuentren) consecutivamente es señal de una anomalía en ese período de tiempo.
3. **Aproximación al límite:** Si dos de 3 puntos consecutivos o 3 o más puntos de 7 consecutivos se aproximan al límite superior o inferior de control o están a más de  $\frac{2}{3}$  de la distancia entre el límite y la línea centro, puede considerarse que en ese período existió una anomalía.
4. **Periodicidad:** Ocurre periodicidad si la posición de los puntos de datos puede ascender y descender en forma de onda periódica. A menudo es útil en el análisis del proceso determinar el período, amplitud y causas de este fenómeno periódico.

*Uso del gráfico de control para la disminución y control de los consumos energéticos:*

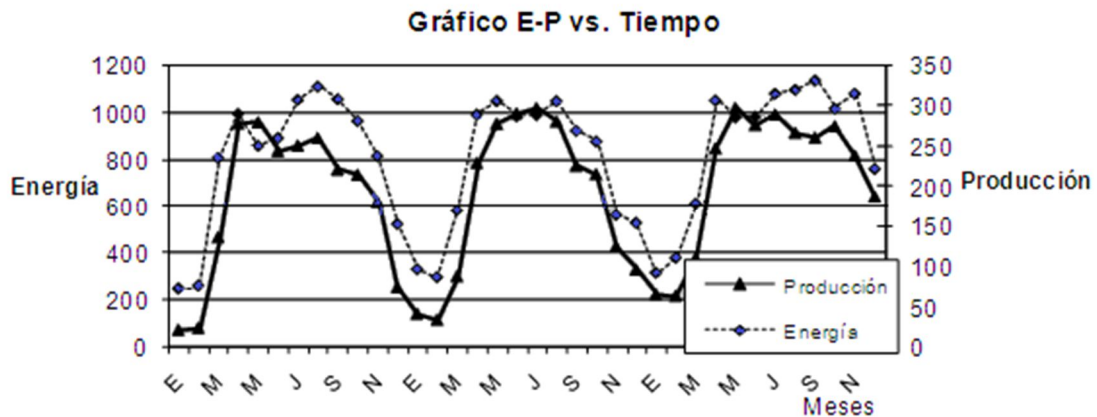
- Identificar las pautas anómalas que presenta el gráfico.
- Determinar las causas de cada anomalía, verificando qué factores de producción u otro tipo variaron el período de la anomalía y cómo variaron.
- Verificar que en los estados estables estos factores no influyeron.
- Establecer acciones o estrategias para eliminar las anomalías que provocan incremento de los consumos o mantener las condiciones que provocan reducción de los mismos.
- Una vez que se hayan adoptado acciones para evitar la recurrencia de los problemas, se descartan los datos de las anomalías y se calculan los nuevos límites de control para el seguimiento del comportamiento de los consumos. Si solamente 1 de 35 puntos consecutivos o 2 de 100 consecutivos están fuera de los límites de control, puede considerarse estable el proceso y continuar empleando los mismos límites.
- Continuar situando los datos en el gráfico de control. Actuar inmediatamente que se produzca una anomalía.

### **Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E – P vs. T).**

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos (Figura 2.3).

### **Utilidad de los gráficos E-P vs. T.**

- Muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción.
- Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos. (Monteagudo y Gaitan, 2005).



*Figura 0-3 Gráfico de consumo y producción en el tiempo.*

### **Variaciones anormales en el gráfico E-P vs. T**

Generalmente debe ocurrir que un incremento de la producción produce un incremento del consumo de energía asociado al proceso y viceversa.

#### **Comportamientos anómalos son:**

- Incrementa la producción y decrece el consumo de energía.
- Decrece la producción y se incrementa el consumo de energía.
- La razón de variación de producción y consumo, ambos creciendo o decreciendo, son significativos en el período analizado.

El gráfico E-P vs. T puede acompañarse de una tabla de variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo que permite la evaluación numérica de las anomalías descritas.

#### **Uso del gráfico E-P vs. T para identificar factores que influyen en el consumo.**

- Seleccionar indicadores cuantitativos y cualitativos de producción que pueden influir en los consumos.
- Recopilar los datos de esos factores en los períodos que se analizan en el gráfico.
- Comparar las variaciones de esos factores individualmente y de combinaciones de ellos, con las variaciones que ocurren en los comportamientos anómalos.

- Sacar conclusiones acerca de los factores que influyen y cómo influyen.
- Verificar las conclusiones obtenidas en los períodos no anómalos.

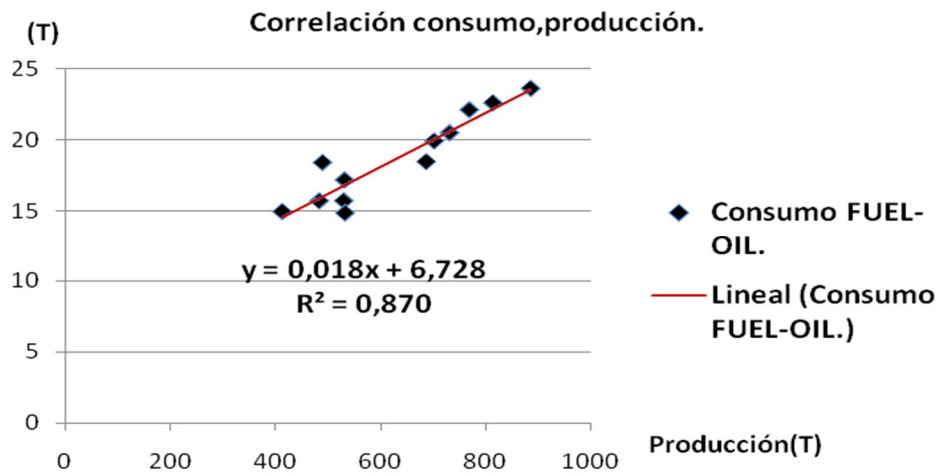
### **Diagrama de Dispersión y Correlación**

Es una herramienta gráfica que permite demostrar la relación existente entre dos clases de datos y cuantificar la intensidad de dicha relación. Su objetivo es mostrar en un gráfico X, Y si existe correlación entre dos variables, y en caso de que exista, qué carácter tiene esta (Figura 2.4).

### **Clasificación de la Correlación.**

- Correlación lineal: Se representa mediante una línea recta.
- Correlación no lineal: Se representa con una línea curva.
- Correlación simple: La variable dependiente actúa sobre la variable independiente.
- Correlación múltiple: Cuando la variable dependiente actúa sobre varias variables independientes.
- Correlación parcial: Cuando la relación que existe entre una variable dependiente y una independiente es de tal forma que los demás factores permanezcan constantes.
- Correlación negativa: Dos variables tiene correlación negativa cuando al aumentar o disminuir el valor de una de ellas entonces el valor de la otra disminuirá o aumentará respectivamente, es decir, una variable aumenta y otra disminuye o viceversa.
- Correlación positiva: Dos variables tiene correlación positiva cuando al aumentar o disminuir el valor de una de ellas entonces el valor correspondiente a la otra aumentará o disminuirá respectivamente, es decir, cuando las dos variables aumentan en el mismo sentido.



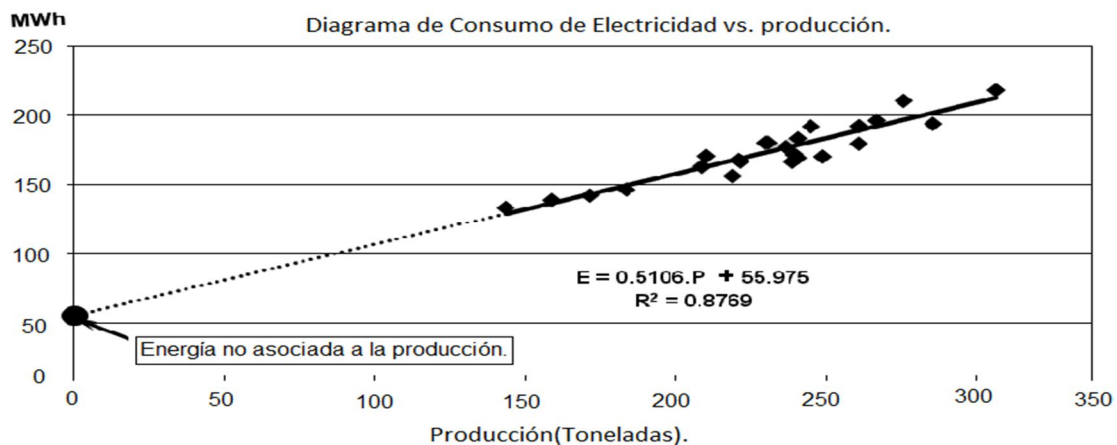


**Figura 0-4**Gráfico de Correlación.

- En el gráfico se observa una Correlación positiva, pues que existe una relación, definida entre el consumo y la producción.
- Utilidad de los diagramas de dispersión y correlación:
- Muestra con claridad si los componentes de un indicador de control están correlacionados entre sí y por tanto si el indicador es válido o no.
- Permite establecer nuevos indicadores de control.
- Permite determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre las variables en cuestión y establecer nuevas variables de control.

### **Diagramas de consumo – producción (E vs. P)**

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión (Figura 2.5). Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados.



**Figura 0-5** Diagrama de consumo – producción.

Si el coeficiente de correlación entre E y P en el gráfico E vs. P es débil, las causas pueden encontrarse en los siguientes aspectos:

El término producción (P) no ha sido adecuadamente establecido: (Ej: existe producción en proceso que ha consumido energía y esta no ha sido considerada; la estructura de producción incluye productos con diferentes requerimientos energéticos; etc.). En este caso es necesario determinar una producción equivalente, para establecer la gráfica.

- Los períodos en que se han medido la producción (P) y el consumo (E) no son iguales.
- La empresa está trabajando a una capacidad muy baja respecto a su capacidad nominal, tiene grandes consumidores laborando en regímenes subcargados, cantidades significativas de energía residual que no utiliza o un consumo fijo de energía muy alto.
- El consumo de energía en la empresa no es controlado adecuadamente y las prácticas de operación y mantenimiento están pobremente definidas. El monitoreo y la supervisión energética son débiles.

#### Utilidad de los Diagramas E y P.

- Determinar en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción.

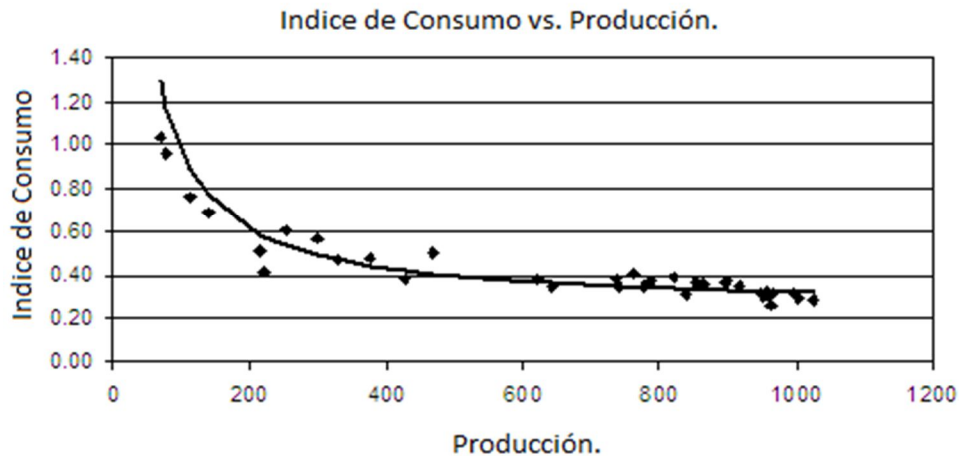
- Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador es válido o no.
- Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.
- Determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.
- Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

La energía no asociada al proceso productivo en una empresa puede ser:

- Iluminación de plantas, electricidad para equipos de oficinas, ventilación.
- Áreas climatizadas, tanto de calefacción como de aire acondicionado.
- Energía usada en servicios de mantenimiento.
- Trabajo en vacío de equipos eléctricos o térmicos.
- Energía perdida en salideros de vapor, aire comprimido, deficiente aislamiento térmico, etc.
- Pérdidas por radiación y convección en calderas.
- Precalentamiento de equipos y sistemas de tuberías.
- Pérdidas de electricidad por potencia reactiva.

### **Diagrama índice de consumo – producción (IC vs. P)**

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico E vs. P y la ecuación,  $E = m.P + E_0$ , con un nivel de correlación significativo. El gráfico IC vs. P es una hipérbola equilátera, con asíntota en el eje x, al valor de la pendiente m de la expresión  $E = f(p)$  (Figura 2.6).



**Figura 0-6** *Grafico índice de consumo – producción.*

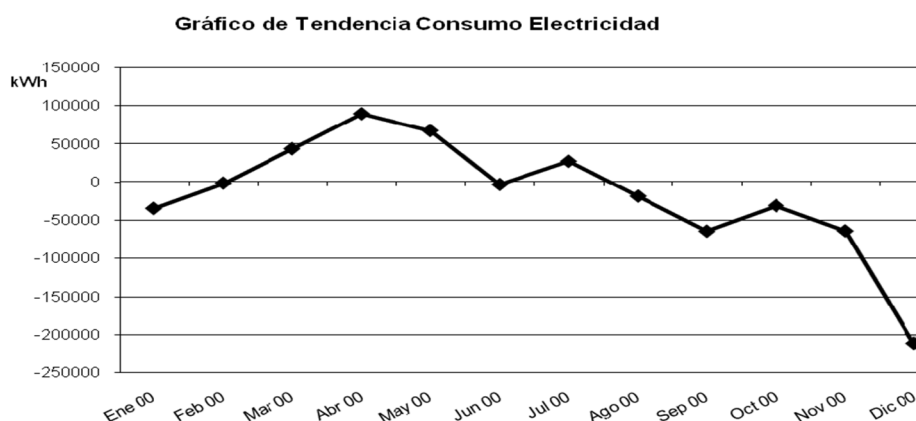
El gráfico IC vs. P es muy útil para establecer sistemas de gestión energética, y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores.

**Reducción y control de los consumos a partir del diagrama energético IC vs. P.**

- Caracterizar el nivel de eficiencia con que un trabajo en el período evaluado al comparar los pares reales (E/P, P) sobre el diagrama con la curva de referencia.
- Comprobar y determinar los índices de consumo por portador energético de la empresa a planificar para un nivel de producción previsto.
- Determinar las metas de índices de consumo para los diferentes niveles de producción.
- Determinar el punto crítico de producción para la programación de la producción en la empresa, áreas o equipos. Conocer la zona de producción de alta y baja eficiencia energética.
- Identificar factores que influyen en el incremento o disminución del índice de consumo de la empresa, área o equipo.
- Evaluar el nivel de eficiencia energética de la producción por portador energético a nivel de empresa, área o equipo.

## Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM).

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de comparación dado (Figura 2.7).



**Figura 0-7** Representación de un gráfico de Tendencia o de sumas acumulativas

A partir de este gráfico también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización.

Utilidad del Gráfico de Tendencia.

- Conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos.
- Comparar la eficiencia energética de períodos con diferentes niveles de producción.
- Determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un período actual respecto a un período base.
- Evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía.

Uso del gráfico de tendencia para reducir y controlar los consumos energéticos:

- Monitorear los consumos energéticos con respecto al año o el semestre anterior a nivel de empresa, área o equipos altos consumidores.
- Evaluar la tendencia de la empresa en eficiencia energética.

- Determinar la efectividad de medidas de ahorro a nivel de empresa, área o equipo.

### **Herramientas de nivel medio**

Se denominan herramientas de nivel medio, a aquellas que para su aplicación requieren un determinado grado de especialización en la rama energética, de ahí la importancia en la conformación del grupo de gestión. Este tipo de herramientas están dirigidas fundamentalmente a la aplicación de una tecnología para el ahorro y uso racional de la energía; obviamente se apoya en los resultados obtenidos por las herramientas básicas. (Restrepo, 2003).

### **Prueba de la Necesidad**

Corresponde a la herramienta más importante de las denominadas intermedias. La prueba de la necesidad constituye el primer paso para implantar un sistema de gestión total por la eficiencia energética en la empresa. De los resultados de esta prueba depende que los especialistas y la alta dirección, decidan, con elementos técnicos y económicos, continuar con la implantación y dedicar recursos materiales y humanos a esta actividad. La metodología que se presenta sirve de guía para alcanzar los objetivos planteados en esta etapa y confeccionar el informe que debe presentar a la alta dirección de la empresa. La prueba de la necesidad, en sí, constituye un resultado importante, al caracterizar e identificar los principales problemas energéticos de la empresa en el ámbito general. En el orden práctico, sus resultados permiten la planificación objetiva de los índices de consumo, la modelación de los comportamientos históricos, y la cuantificación de la influencia de diferentes factores globales en los consumos, costos energéticos y gastos totales de la empresa. (Restrepo, 2003).

Para comenzar se establecen los siguientes objetivos:

1. Caracterizar el estado de eficiencia energética y de impacto ambiental de la empresa.
2. Determinar potenciales globales de disminución de consumos, costos energéticos e impactos ambientales en la empresa.

- Determinar la necesidad de la empresa de implantar un sistema de gestión total eficiente de la energía.

### **Determinación de indicadores energéticos de la empresa:**

Para determinar los indicadores energéticos de la empresa se hace uso de las diferentes herramientas estadísticas básicas nombradas anteriormente. Los principales indicadores son: Índices de gastos energéticos, índices de consumo y la estratificación.

El determinar los indicadores energéticos de la empresa, da poder de decisión al grupo de gestión, además de que permite conocer el estado operacional de la misma.

## **2.2 Potencial de producción de biogás.**

Teniendo en cuenta que la concentración del CH<sub>4</sub> en el volumen de la mezcla de los componentes del biogás en este caso es del 70% se puede determinar la cantidad de biogás por la siguiente ecuación:

$$\text{Producción de Biogás} = \text{Producción de metano} * 1,4285$$

Conocidos los valores máximos de generación de los residuales en la UEB y aplicando esta ecuación se determinó el potencial real de producción de biogás. Para determinar el aporte energético del biogás que se incorporará a la producción se asumieron los valores de la tabla 2.1 (<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>).

Tabla 0-1 Consumo y rendimiento de algunas tecnologías de combustión de biogás.

<b>Combustión</b>	<b>Consumo</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	30 - 75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m <sup>3</sup> /kWh o Hph	25 – 30
quemador de 10 kW	2 m <sup>3</sup> /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99
Co generador	1 kW elect. 0,5 m <sup>3</sup> /kwh 2kW térmica	hasta 90

### 2.2.1 Metodología de diseño de los biodigestores de cúpula fija.

Para el cálculo de los parámetros de diseño de un biodigestor anaerobio es necesario conocer los datos de entrada, y los que deben ser calculados. Los datos de entrada necesarios para el diseño se listan a continuación:

- Cantidad de biomasa diaria generada;  $M_d$  (kg d<sup>-1</sup>).
- Tasa de dilución;  $N$  (l kg<sup>-1</sup>)
- Productividad de biogás;  $Y$  (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>).
- Tiempo de retención hidráulica, TRH (d).
- Coeficiente de contención de gas,  $k$ .

Los parámetros a calcular serán los siguientes:

- Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua);  $S_d$  (kg d<sup>-1</sup>).
- Volumen del biodigestor,  $V_{\text{biodig}}$  (m<sup>3</sup>).
- Capacidad de producción de biogás,  $G$  (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>).
- Volumen de contención del biogás, (gasómetro y/o cúpula del biodigestor),  $V_{\text{biogás}}$  (m<sup>3</sup>).
- Volumen del tanque de compensación,  $V_{\text{tc}}$  (m<sup>3</sup>).

#### Cálculo de los parámetros principales de un biodigestor GBV.

Volumen diario de material (residual y agua).

La cantidad diaria de material de entrada ( $S_d$ ), no es más que la suma del residual y la dilución de la biomasa (residual y agua).

$$S_d = (1 + N) \cdot M_d [m^3 d^{-1}] \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

- $N$ : Factor de dilución. Para este estudio se utilizó un valor de 1:3.
- $M_d$ : Cantidad de material (residuo) (kg)

Volumen del biodigestor.



El volumen del biodigestor ( $V_{biodig}$ ) se calculó teniendo en cuenta el volumen diario material ( $S_d$ ) que entra al biodigestor y el tiempo de retención hidráulico (TRH), donde éste último fue ajustado a 30 días:

$$V_{biodig} = S_d \cdot TRH \quad [m^3](Ec. 2.2)$$

Capacidad de producción de biogás del biodigestor.

La capacidad de producción ( $G$ ) se calcula a través de la productividad específica de biogás de los residuales:

$$G = M_d \cdot Y \quad [m^3 d^{-1}] \quad (Ec. 2.3)$$

Donde:

- $Y$ : Productividad específica de biogás ( $m^3 kg^{-1}$ ).
- Volumen de contención de gas.

$$V_{biogás} = k \cdot G \quad [m^3 d^{-1}](Ec. 2.4)$$

Por tanto, sustituyendo  $G$  en la ecuación 2.3, se tiene que:

$$V_{biogás} = k \cdot M_d \cdot Y \quad [m^3 d^{-1}](Ec. 2.5)$$

El volumen efectivo del tanque de compensación es exactamente el mismo volumen de almacenamiento del biogás, por lo que sus parámetros geométricos dependerán de la figura geométrica a la cual corresponda su estructura sin variar la altura para la cual se han realizado los cálculos, y esta define la presión máxima del biogás en la planta.

### **2.2.2 Dimensionamiento del biodigestor anaerobio GBV.**

Habiendo definido el volumen total del biodigestor, sobre la base del volumen diario de residual y el tiempo de retención hidráulica, se realiza el dimensionamiento del mismo teniendo en cuenta los diseños prototipos.

Los materiales de construcción empleados son los comúnmente utilizados en las construcciones civiles, tales como: cemento, piedra, gravilla, arena, cal, bloques de hormigón y aceros. Es imprescindible que todos los materiales de construcción que se utilizarán en la obra se encuentren lo más próximo posible a ella, a fin de ahorrar tiempo y trabajo.

En general, la cantidad aproximada de materiales necesarios para la construcción de los biodigestores anaerobios de cúpula fija de pequeña y mediana escala, se relacionan en la tabla 2.2.

Tabla 0-2 Cantidad aproximada de materiales usados en la construcción de biodigestores anaerobios de cúpula fija, con volúmenes de 10; 14; 22,5; 42,5 y 47,5 m<sup>3</sup>. (2.3.)

Materiales	U/M	Necesidad de materiales por cada planta.				
		10 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	22,5 m <sup>3</sup>	42,5 m <sup>3</sup>	47,5 m <sup>3</sup>
Cemento	Saco	25,0	35,0	50,0	120,0	130,0
Arena	m <sup>3</sup>	2,0	3,0	5,0	10,0	12,0
Grava	m <sup>3</sup>	1,5	2,0	4,0	8,0	10,0
Polvo de piedra	m <sup>3</sup>	4,0	4,5	4,0	18,0	18,0
Bloque 15 cm.	Udad	230,0	250,0	410,0	820,0	1.160,0
Ladrillo macizo	Udad	670,0	700,0	1.000,0	1.800,0	2.000,0
Tub. PVC Ø 25.4 mm	M	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Tub. PVC Ø12,7 mm	M	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Tee. PVC Ø 12,7 mm	Udad	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Tee. PVC Ø 25,4 mm	Udad	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Codo de Ø 12,7 mm	Udad	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Tub.PVC Ø 19,05 mm"	M	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Válvulas Ø 25,4	Udad	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Tub. PVC Ø 150,0 mm	M	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Acero Ø 9,52 mm	T	0,10	0,14	0,17	0,3	0,30
Acero Ø 6,35 mm	T	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Pegamento plástico	Udad	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0

### 2.3 Sustratos para la codigestión anaerobia.

Los sustratos utilizados en el estudio de biodegradabilidad anaerobia fueron residuales líquidos y sólidos generados en la UEB Bayamo de la Empresa Cárnica, perteneciente al Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA). Los residuos

sólidos fueron una mezcla de estiércol vacuno y porcino, y rumen; mientras que el residual líquido fue agua residual proveniente del mismo proceso.

Las aguas residuales se obtuvieron de un registro previo a la entrada de la primera laguna de oxidación. Los estiércoles frescos vacuno y porcino se obtuvieron también de un registro de almacenamiento de residuos en el área de los corrales ubicados en la misma entidad. Por otro lado, el rumen se obtuvo de otro registro de acopio de los residuos sólidos localizado en la zona de evacuación del matadero (Figura 2.9).

Como inóculo para los reactores en “batch” fue utilizado un lodo anaerobio proveniente de un pequeño biodigestor ubicado en una granja cercana que trata estiércol porcino.



**Figura0-8** Residuos generados en la UEB Cárnico Bayamo utilizados para las pruebas de biodegradabilidad anaerobia. a) Estiércol; b) rumen; c) agua residual.

### 2.3.1 Procedimiento experimental.

Los experimentos de codigestión fueron utilizados usando botellas serológicas de cristal de 500 ml de volumen como reactores en “batch”. Todos los experimentos fueron trabajados en duplicado y el promedio de los valores fue utilizado para el manejo de la información. Las botellas de cristal fueron llenadas con 50 ml de inóculo y las cantidades requeridas de substratos, las cuáles fueron enrasadas hasta 250 ml, y homogeneizadas mediante agitación antes de finalizar la inoculación en las botellas de cristal. El período de evaluación de los experimentos tuvo una duración de aproximadamente 32 días.

## **CAPITULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **3.1 Comportamiento energético de la UEB Cárnicos Bayamo.**

En la UEB Cárnicos Bayamo los principales consumos del proceso de producción están asociados al uso de diferentes portadores energéticos acordes a las demandas de cada proceso, dependiendo en mayor medida del uso de: energía eléctrica, fuel-oil, gas licuado, diésel y gasolina.

#### **Energía eléctrica.**

La energía eléctrica que se utiliza en la entidad es suministrada a través de la red nacional y representa más del 90% del total de la energía suministrada y los consumos en la entidad están demandados por las siguientes actividades enunciadas en orden jerárquico acorde al consumo:

- Equipos de refrigeración
- Equipos tecnológicos y herramientas.
- Equipos de climatización.
- Alumbrado
- Equipos y herramientas de la actividad de mantenimiento y reparación.

El área de refrigeración se mantiene trabajando las 24 horas de cada día y en ella el equipo de mayor consumo es el compresor de Amoníaco.

#### **Fuel-Oil y Gas Licuado (GLP).**

Los combustibles Fuel-Oil y Gas Licuado son suministrados por la empresa Cupet. El Fuel-Oil se utiliza en la Caldera para la generación de vapor, este vapor es utilizado en el proceso productivo. El Gas Licuado del petróleo se emplea en el laboratorio, en la cocina comedor para la cocción de alimentos y en el proceso productivo en el chamusqueador.

## Diésel y Gasolina.

Los combustibles Diésel y Gasolina, son suministrados por la empresa Cupet, estos combustibles son utilizados, en los equipos de transporte pertenecientes a la UEB, el Diésel además se utiliza en el grupo Electrógeno instalado en la UEB para la generación de corriente eléctrica en caso de déficit.

## Estructura de Consumo de Portadores Energéticos.

Durante el periodo que se evalúa los portadores energéticos se comportaron como se muestra en la tabla 3.1.

*Tabla 0-1 Consumo de portadores energéticos 2012-2014.*

PORTADOR.	U.M.	AÑO 2012	AÑO 2013	AÑO 2014
Energía Eléctrica	MW*h	775,356	879,205	976,274
Fuel-Oil	T	224,09	238,59	213,449
Gas Licuado	T	5,524	5,335	5,133
Diésel	T	6,81	30,04	36,4
Gasolina	T	4,59	3,49	3,34

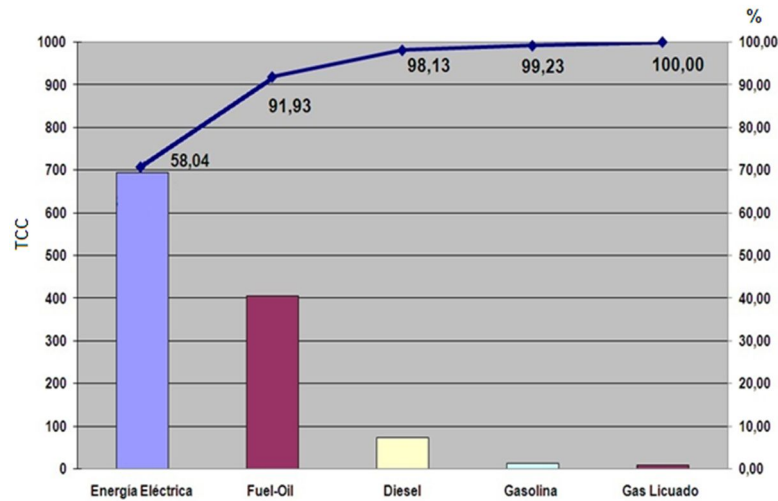
## 3.2 Análisis de la aplicación de las Herramientas del sistema de gestión total eficiente de la energía.

Después de haber obtenido a través de los registros existentes en la entidad los valores de los consumos y de los gastos asociados a estos, se procedió a la aplicación del diagrama de Pareto para visualizar los portadores de mayor incidencia en los consumos energéticos y de esta forma poder diseñar herramientas para la disminución de los mismos.

### Diagrama de Pareto.

Luego de aplicar el principio de Pareto se puede apreciar que la energía eléctrica y el Fuel-Oil son los que más influyen dentro de los consumos energéticos de la UEB Cárnicos Bayamo, representando en el periodo 2012-2014 un 58,04 y un 33,90%, acumulando entre ellos el 91,93 % del total, por lo que el programa de ahorro de energía debe iniciarse en este sentido para lograr mayores beneficios. Las áreas que mayor influencia tienen en el consumo de energía, van a ser el área de

refrigeración consumidora de energía eléctrica y el área de producción consumidora de energía eléctrica y de vapor. Es en estas áreas donde se deben concentrar los esfuerzos y aplicar las medidas correspondientes, para disminuir los consumos energéticos.



*Figura 0-1 Diagrama de Pareto a portadores energéticos UEB Cárnicos Bayamo 2012-2014.*

### 3.3 Evaluación de las variables actuales para el control de la Eficiencia Energética.

#### Gráficos de Control

Una vez determinados los portadores que representan el 80 % de los gastos energéticos en el proceso se pasa a determinar a través de los gráficos de control los comportamientos de cada portador energético y de este concluir si es posible incidir sobre el portador para mejorar su gestión eficiente.

Al realizar un análisis del gráfico 3.2, se puede observar que el consumo de energía eléctrica se mantiene dentro de los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI). Se debe destacar que existen sesgos porque hay coincidencias de 7 puntos consecutivos a ambos lados de la línea centro y por tanto existen anomalías, por lo que hay que buscar las causas que la propiciaron.

## Energía Eléctrica y producción 2012-2014.

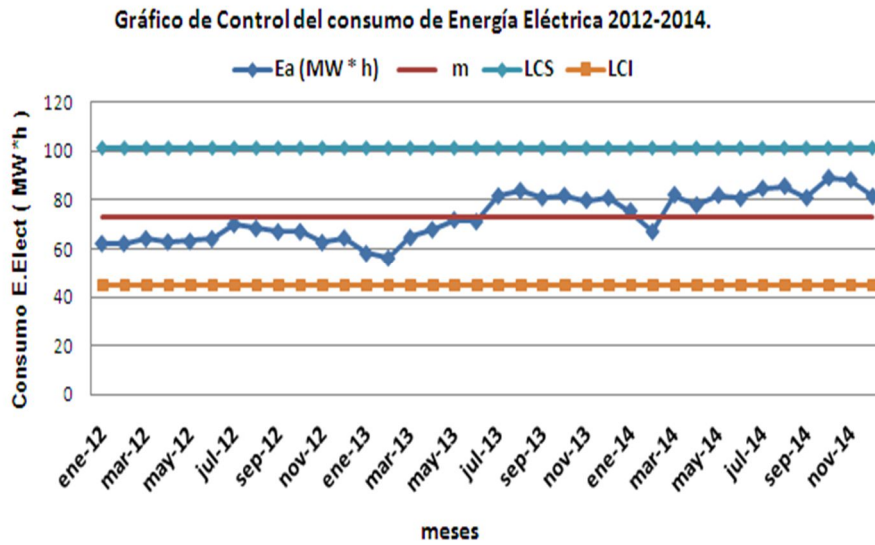


Figura 0-2 Control del consumo de energía eléctrica 2012-2014.

## Fuel Oil y producción 2012-2014.

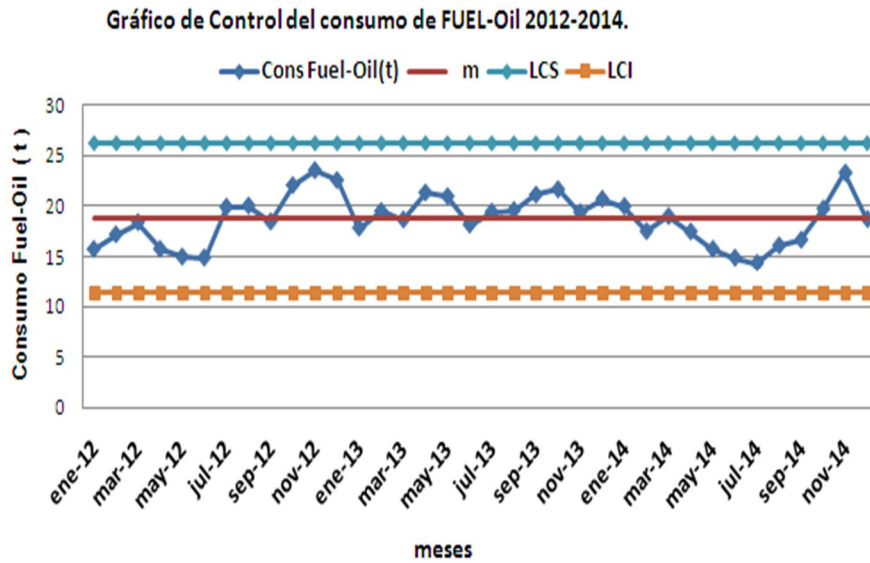
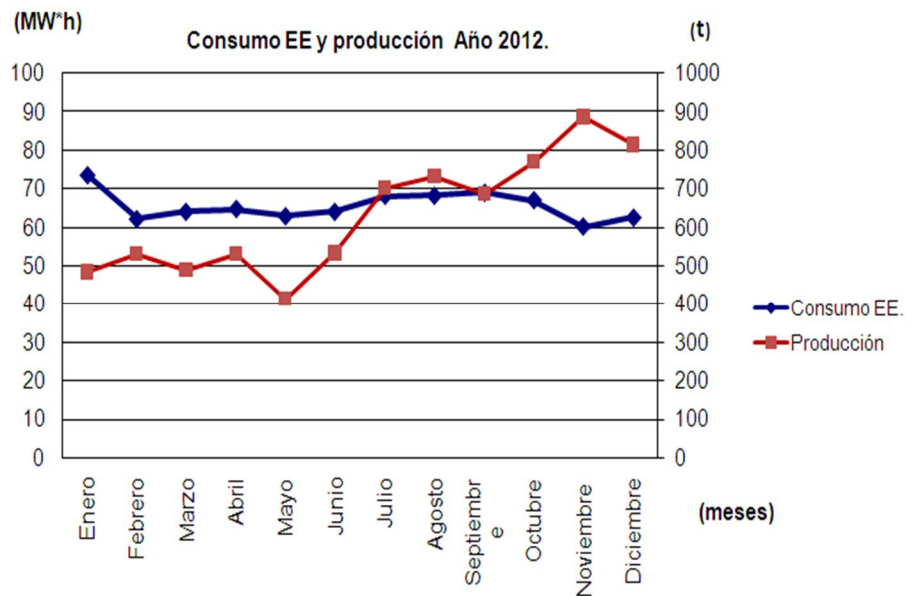


Figura 0-3 Control del consumo de FUEL-Oil 2012-2014.

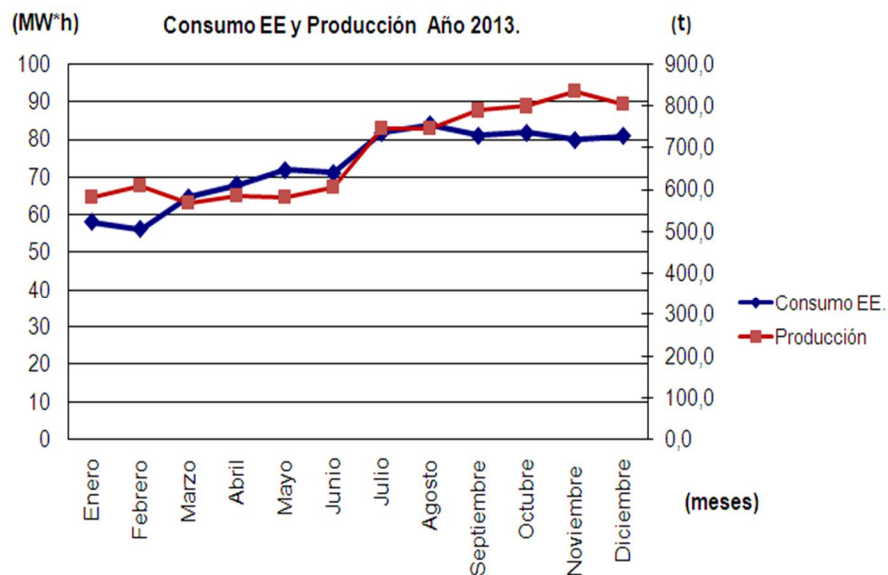
Al realizar un análisis del gráfico 3.3, se puede observar que el consumo de Fuel Oil se mantiene dentro de los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI). Se debe destacar que existen sesgos porque hay coincidencias de 7 puntos consecutivos a

ambos lados de la línea centro y por tanto existen anomalías, por lo que hay que buscar las causas que la propiciaron.

En las figuras 3.4 hasta 3.6 se muestran los comportamientos del consumo de Energía Eléctrica, Fue-Oil, y la producción en la UEB Cárnicos Bayamo durante el periodo 2012 – 2014.

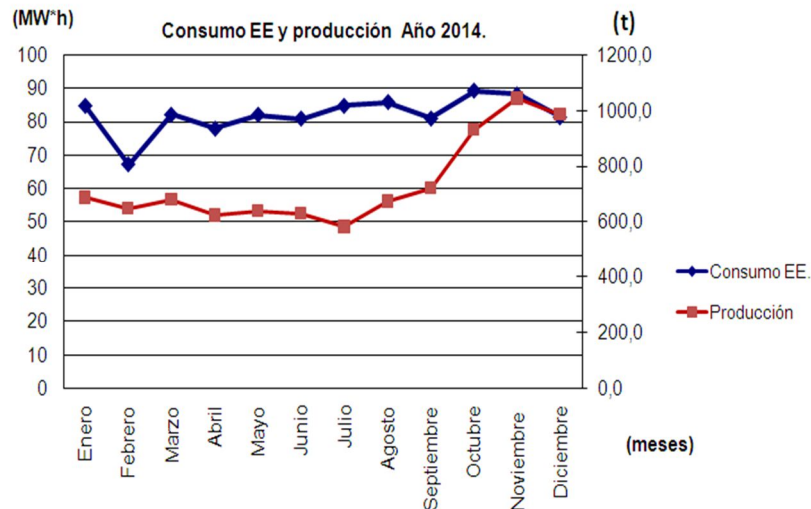


**Figura 0-4** Variación del consumo de Energía Eléctrica y producción año 2012.



**Figura 0-5** Variación del consumo de Energía Eléctrica y producción año 2013.



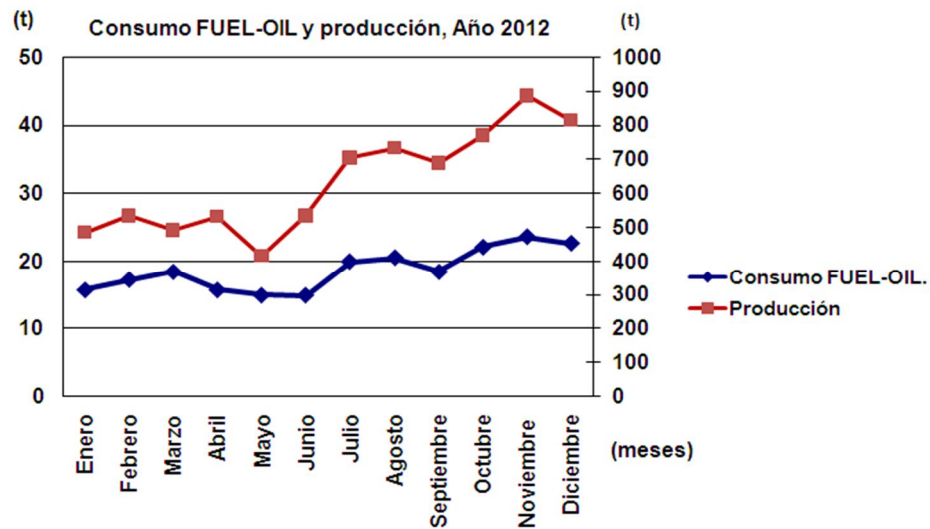


**Figura 0-6** Variación del consumo de Energía Eléctrica y producción año 2014.

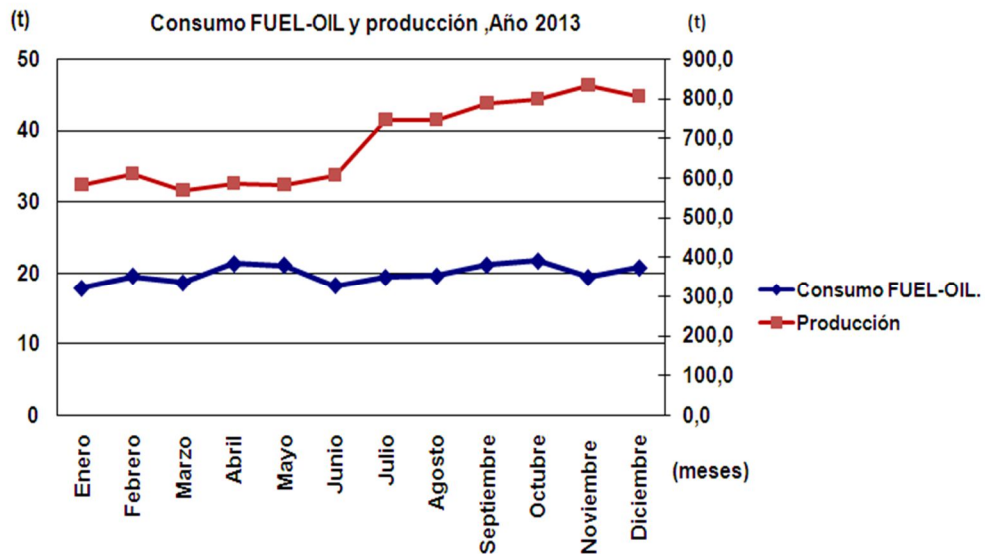
Los gráficos 3.4, 3.5 y 3.6 muestran la variación simultánea del consumo de energía eléctrica y Producción en el tiempo, en ellos se aprecia que no existe una relación fuerte entre el consumo de energéticos y la producción, ya que en todos los casos existen irregularidades que se visualizan a partir del crecimiento de uno de los indicadores con una consecuente disminución del otro, negándose en estos casos las funciones teóricas que describen este tipo de procesos. Esto puede estar dado por la inestabilidad de la producción y a la mala contabilización de la energía.

Los gráficos 3.7, 3.8 y 3.9 muestran la variación simultánea del consumo de Fuel-Oil con la producción realizada en el tiempo, se observa que existe una buena correspondencia entre el consumo activo de Fuel y la producción, exceptuando los meses de noviembre, julio y enero en los años 2012, 2013 y 2014 respectivamente.

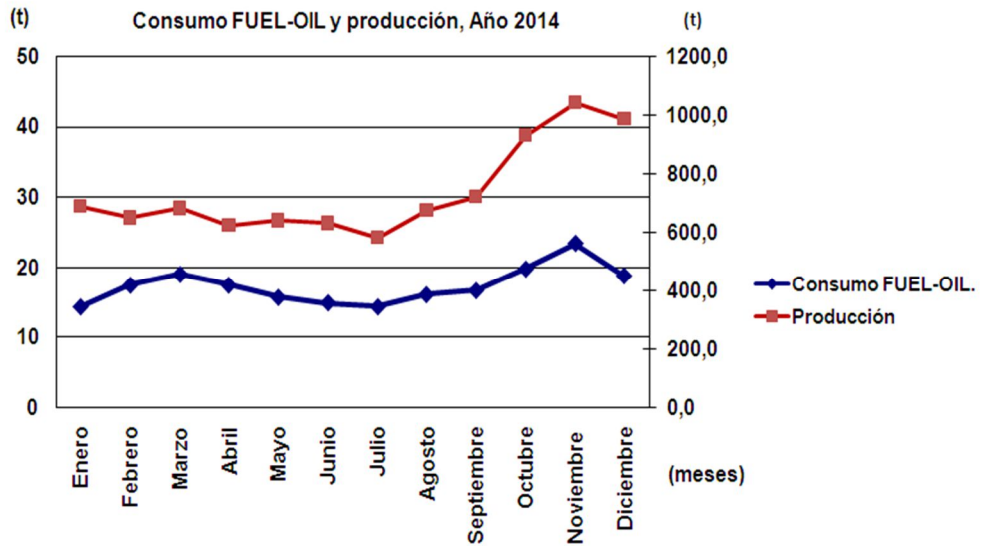
Después del análisis del compromiso entre los indicadores evaluados para cada uno de los portadores energéticos que representan el 80 % de los gastos; se pasó a un análisis de correlación entre las mismas para comprobar estadísticamente la hipótesis formulada, la relación entre las variables es débil.



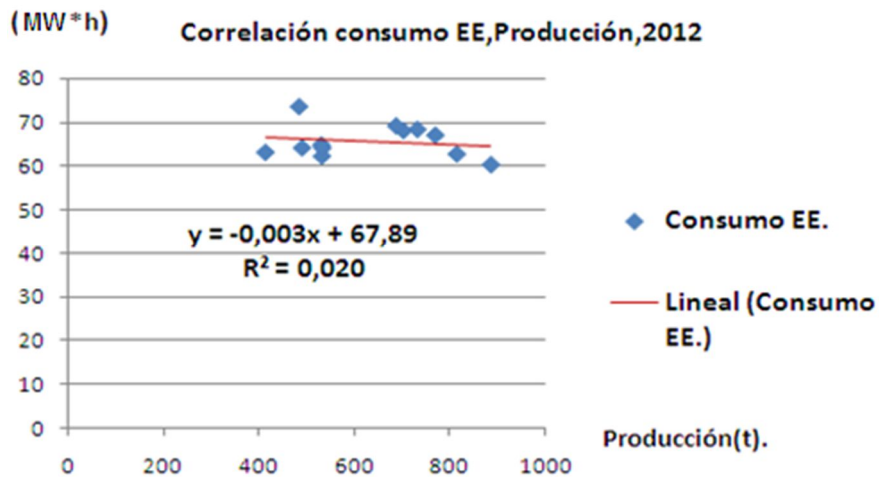
**Figura 0-7** Variación del consumo de FUEL-Oil y producción año 2012.



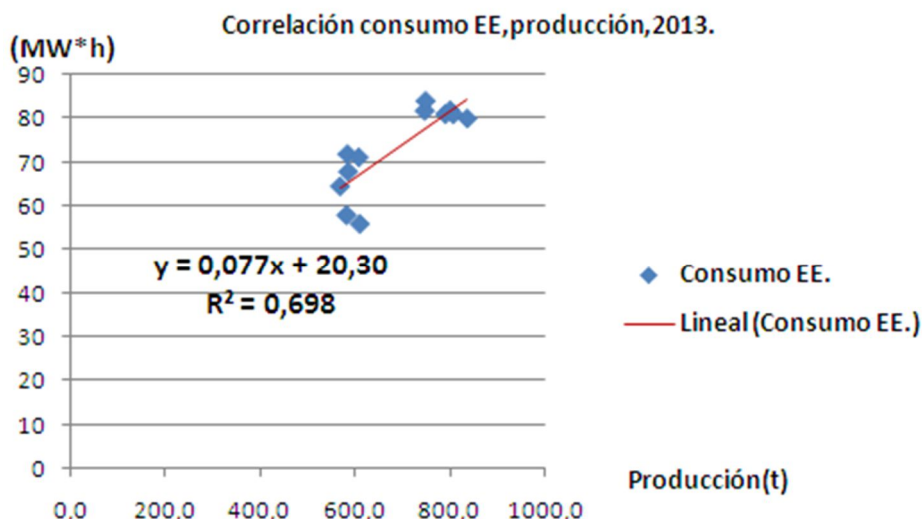
**Figura 0-8** Variación del consumo de FUEL-Oil y producción año 2013.



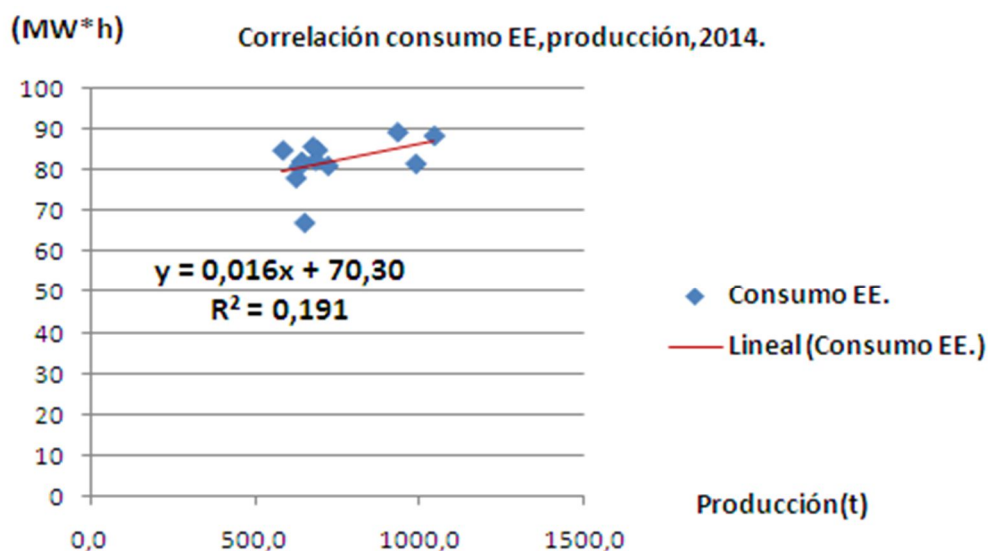
**Figura 0-9** Variación del consumo de FUEL-Oil y producción año 2014.



**Figura 0-10** Correlación entre el consumo de Energía Eléctrica y la producción año 2012.



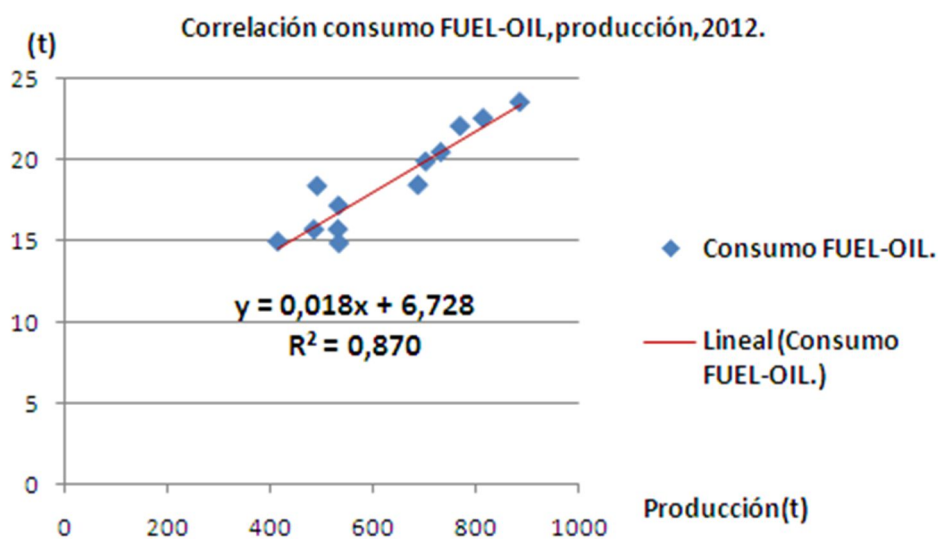
**Figura 0-11** Correlación entre el consumo de Energía Eléctrica y la producción año 2013.



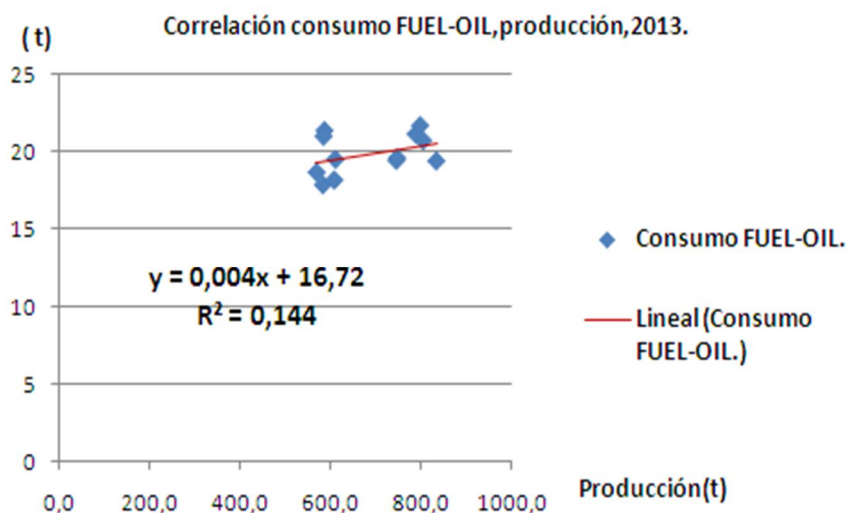
**Figura 0-12** Correlación entre el consumo de Energía Eléctrica y la producción año 2014.

Los análisis de correlación que se muestran en los gráficos 3.10, 3.11, 3.12 a partir del consumo de energía eléctrica y la producción en los años del 2012 al 2014 respetivamente, así como las ecuaciones obtenidas para cada periodo evaluado y sus valores de  $R^2$  arrojan que la relación entre los factores evaluados es débil lo que corrobora la hipótesis de que la gestión del recurso energético en la entidad no es buena, pues  $R^2$  es menor que al 75 %, es decir que no existe una relación bien definida entre el consumo y la producción, obteniendo valores del 2 %, el 69 % y el

19 % respectivamente, lo que connota la necesidad de tomar medidas de ahorro y eficiencia energética en aras de mejorar lo mismos.

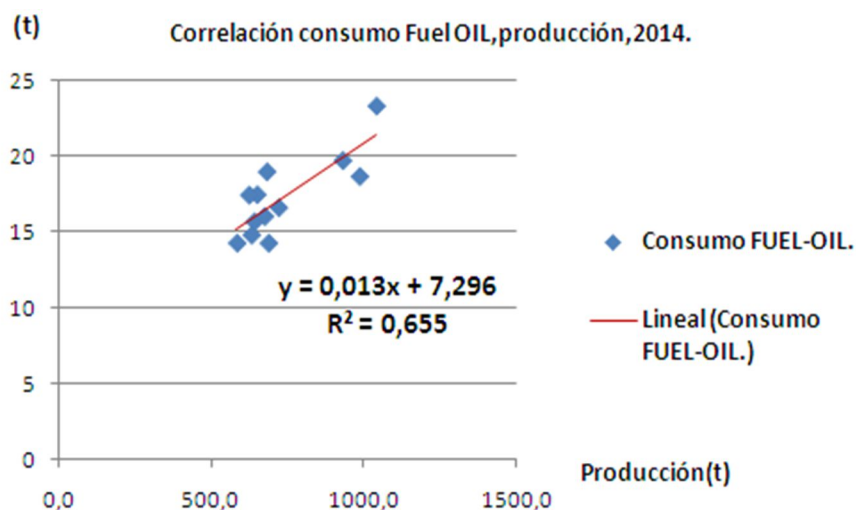


**Figura 0-13** Correlación entre el consumo de FUEL-OIL y la producción año 2012.



**Figura 0-14.** Correlación entre el consumo de FUEL-OIL y la producción año 2013.

La correlación entre el consumo de Fuel-Oil y la producción, gráficos 3.13 al 3.15, en los años del 2012 al 2014 respectivamente, arroja que aunque en el año 2012 la gestión del recurso fue buena en los años siguientes se perdió la gestión pues los valores de  $R^2$  caen a un 14 % y aunque en el año 2014 se recuperó hasta el 65 % la gestión de este recurso para estos años no es buena, por lo que se recomienda tomar medidas para aumentar la gestión eficiente de este indicador.



**Figura 0-15** Correlación entre el consumo de FUEL-OIL y la producción año 2014.

Para investigar las posibles causas que provocan anomalías en los consumos de energía eléctrica y Fuel – Oil se pasa a un análisis más profundo para buscar las deficiencias en el proceso de gestión energética de la entidad por lo que se hace una valoración del comportamiento de los consumos, teniendo en cuenta lo planificado por la empresa (plan) y lo ejecutado realmente (real) para cada uno de los años evaluados.

### 3.4 Caracterización de los residuos generados en la UEB Cárnico Bayamo.

Las aguas residuales generadas en la UEB Cárnico Bayamo son tratadas en el sistema compuesto por las 4 lagunas de oxidación. En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de las características principales de las aguas residuales generadas.

**Tabla 3-1** Caracterización de las aguas residuales generadas en la UEB Cárnico Bayamo(GEOCUBA, 2013).

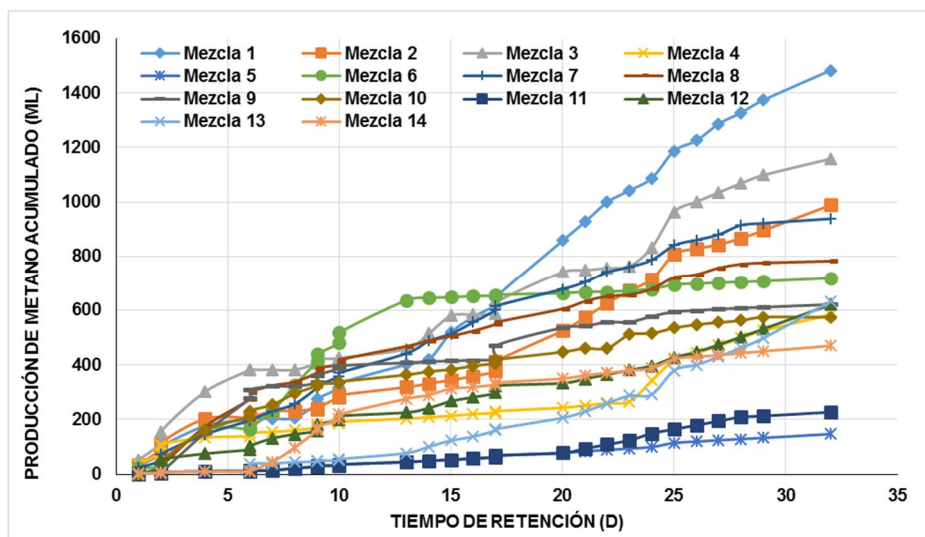
Parámetros	Unidad	Valor
pH	U	8,1
Sólidos suspendidos	mg/l	15,0
Conductividad eléctrica	$\mu$ S/cm	1 712,7
Grasas y aceites	mg/l	5 512
DBO <sub>5</sub>	mg/l	465,9
DQO	mg/l	797,8
Oxígeno disuelto	mg/l	0,61
Temperatura	°C	25,4 – 26,6
Coliformes totales	NMP/100 ml	1 600
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1 133

La descarga de la entidad al sistema de lagunas, reporta valores de pH promedios de 8,1. En la UEB se hace uso de agua caliente en el área de matanza o sacrificio de animales, la cual al pasar por las diferentes secciones de tratamiento previo y mezclarse con un volumen significativo de aguas a temperatura ambiente, llegan al sistema de tratamiento final, a temperaturas que no superan el límite máximo establecido por la norma ya que se reportan valores entre 25,4 y 26,6 °C; además en la mezcla total, la homogenización y tiempo de retención, garantizan que, de producirse el vertido al medio, las aguas posean una temperatura similar a la ambiente.

Las concentraciones de sólidos sedimentables se comportan de manera inestables. Estas fluctuaciones se deben a los volúmenes y variedad de producciones ejecutadas en la unidad; No obstante, reportan un valor promedio de 15 mg SS/l. Los reportes de grasas y aceites en la entrada del sistema de tratamiento presentan una concentración media de 5 512 mg/l; mientras los valores observados de DBO<sub>5</sub> y DQO de 465,9 y 797,8 mg/l, respectivamente de lo que demuestra el alto poder contaminante de estas aguas.

### **3.5 Caracterización de los sustratos.**

El perfil de la acumulación de la producción de metano de las mezclas evaluadas se muestra en la Figura 3.16. Los sustratos individuales y sus combinaciones fueron analizados para determinar el potencial de generación de metano. Un incremento en la producción de metano se observó en todas las mezclas. Las combinaciones 3, 2, y 7 tuvieron altas producciones de metano, en ese orden respectivamente. Todas estas mezclas tuvieron altas proporciones de estiércol, excepto en la última donde existía solamente rumen. Sin embargo, el mayor volumen de metano acumulado se observó en la combinación 1 (100 %; 0 %; 0 %). Los estiércoles generalmente contienen elevadas concentraciones de amonio los cuáles son ventajosos cuando son usados con otros sustratos con bajas concentraciones de nitrógeno como son los residuales de café, aumentando significativamente la producción de biogás.



**Figura 0-16** Producción de metano acumulado durante la codigestión anaerobia de las mezclas de residuales cármicos obtenidas del diseño de mezclas simplex-lattice.

### 3.6 Determinación del modelo matemático y evaluación estadística.

Los datos obtenidos del diseño experimental de mezclas fueron analizados empleando la metodología de la regresión lineal múltiple, y estudiado como respuestas la producción de metano acumulado (Tabla 3.2).

**Tabla 0-2** Producción de metano acumulado obtenido de los experimentos de codigestión anaerobia.

Orden de experimentación	Estiércol	Rumen	Agua residual	Metano acumulado (ml)
1	1	0	0	1482,4
2	2/3	1/3	0	988,1
3	2/3	0	1/3	1158,4
4	1/3	2/3	0	584,6
5	1/3	1/3	1/3	147,3
6	1/3	0	2/3	718,6
7	0	1	0	938,7
8	0	2/3	1/3	782,6
9	0	1/3	2/3	621,3
10	0	0	1	574,7
11	1/3	1/3	1/3	227,3
12	2/3	1/6	1/6	620,6
13	1/6	2/3	1/6	632,1
14	1/6	1/6	2/3	470,0

Para el análisis de la respuesta obtenida fueron evaluadas cuatro soluciones matemáticas: lineal (Ec. 2.1), cuadrático (Ec. 2.2), cúbico (Ec. 2.3) y cúbico especial (Ec. 2.4), para seleccionar un modelo matemático adecuado (basándose en el mayor



valor del estadígrafo F de Fisher con un mínimo valor de probabilidad) y modelar matemáticamente el comportamiento de la variable. La Tabla 3.4 muestra el análisis de varianza de los efectos de los modelos matemáticos en la respuesta evaluada. Para producción de metano acumulado, los modelos cuadrático y cúbico especial mostraron tener valores significativos de estadígrafo F (estadígrafo F calculado =  $F_{cal} = SC/CM = 5,47/26,0 > \text{estadígrafo F tabulado} = F_{tab} = (F_{\alpha; GL; (n-GL+1)}) = F_{0,05; 2; 9} = 4,26$  y  $F_{0,05; 3; 9} = 4,07$ ) y muy bajos valores de probabilidad (probabilidad<sub>cuadrático</sub> = 0.0244 y probabilidad<sub>cúbico especial</sub> = 0.0014)  $> \alpha_{0,05}$ , respectivamente, indicando que la varianza según Fisher a este nivel fue suficiente para justificar el grado de adecuación de ambos modelos.

**Tabla 0-3** Efecto de los modelos lineal, cuadrático, cúbico y cúbico especial para producción de metano acumulado.

Fuente	SC <sup>a</sup>	GL <sup>b</sup>	CM <sup>c</sup>	Estadígrafo F <sup>d</sup>	Probabilidad
Media	$7,07 \cdot 10^6$	1	$7,07 \cdot 10^6$		
Lineal	$4,78 \cdot 10^5$	2	$2,39 \cdot 10^5$	2,35	0,1412
Cuadrático	$7,51 \cdot 10^5$	3	$2,50 \cdot 10^5$	5,47	0,0244 <sup>e</sup>
Cúbico especial	$2,89 \cdot 10^5$	1	$2,89 \cdot 10^5$	26,00	0,0014 <sup>e</sup>
Cúbico	4613,0	3	1538,0	0,08	0,9651
Error	$7,31 \cdot 10^4$	4	$1,83 \cdot 10^4$		
Total	$8,66 \cdot 10^6$	14			

<sup>a</sup>Suma de cuadrados.

<sup>b</sup> Grados de libertad.

<sup>c</sup> Cuadrados medios.

<sup>d</sup> Estadígrafo  $F_{tab}$  ( $F_{\alpha; GL_{lineal, cuadrático o cúbico especial; GL_{error}}$ ).

<sup>e</sup> Probabilidad  $< 0,05$  se consideró como significativa.

Sin embargo, la Tabla 3.5 muestra un análisis del grado de bondad de ajuste de los modelos matemáticos significativos, y reveló que el modelo cúbico especial mostró los más altos valores de adecuación (Coeficiente de Determinación:  $R^2 = 95,13$ ; Coeficiente de Determinación ajustado a los grados de libertad:  $R^2_{ajustado} = 90,96$ ; Coeficiente de Correlación:  $R = 97,53$ ), comparados con los resultados del modelo cuadrático ( $R^2 = 77,05$ ;  $R^2_{ajustado} = 62,70$ ;  $R = 87,78$ ).

**Tabla 0-4** Grado de bondad de ajuste de los modelos matemáticos evaluados.

Modelo	Error estándar	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub> (%)	R
Lineal	318,8	29,95	17,21	54,73
Cuadrático	214,0	77,05	62,70	87,78
Cúbico especial*	105,4	95,13	90,96	97,53
Cúbico	135,2	95,42	85,12	97,68

R<sup>2</sup> Coeficiente de determinación.

R<sup>2</sup><sub>ajustado</sub> Coeficiente de determinación ajustado a los grados de libertad.

R Coeficiente de correlación.

\* Fue considerado como el modelo de mejor ajuste.

Estos resultados confirman que para producción de metano el modelo cúbico especial es el más significativo. El modelo cúbico especial explicó aproximadamente el 95,13 % de la variabilidad de producción de metano, no pudiendo explicar el 4,87 % de la variabilidad remanente. Además, un alto grado de precisión del modelo y una alta fiabilidad de los experimentos conducidos fueron indicados por el bajo valor del error estándar de estimación (105,4 ml) y un error absoluto medio de 60,6 ml. Con estos resultados en el actual estudio se obtuvo una buena correlación entre los valores observados y los predichos por el modelo cúbico especial.

La significación de cada componente del modelo cuadrático fue determinada por la prueba de t de Student y sus valores son presentados en la Tabla 3.6. Las mayores magnitudes de valores de t y pequeños valores de probabilidad denotan el correspondiente coeficiente significativo. Los valores de probabilidad inferiores a  $\alpha = 0.05$  indican que los coeficientes del modelo son significativos a 95% de probabilidad. Para producción de metano, todos los coeficientes que caracterizan los términos lineales (CW, CM y PM) y los términos de interacción (CW·PM y CM·PM) fueron significativos. Para los substratos evaluados, el estiércol fue el más significativo, con una magnitud de estadígrafo  $t = 15,37$  y valor de probabilidad = 0,0013, indicando ser el residual con mayor influencia en la codigestión. No obstante, los substratos rumen y agua residual también tuvieron una elevada influencia en la producción de metano ( $t = 9,71$ ; probabilidad = 0,0033y  $t = 5,74$ ; probabilidad = 0,0094), respectivamente, ya que tuvieron una significativa influencia debido a los bajos valores de probabilidad observados.

**Tabla 0-5** Parámetros del modelo matemático cúbico especial y su significación en la producción de metano.

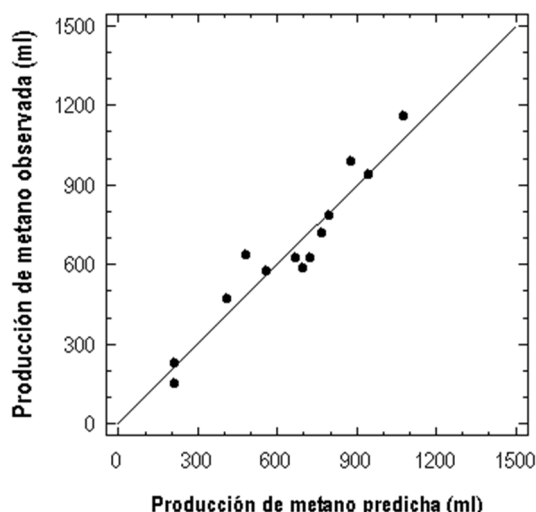
Parámetro	Coficiente	Error estándar	Estadígrafo t	Probabilidad
Estiércol	1501,0	97,66	15,37	0,0013 <sup>e</sup>
Rumen	948,1	97,66	9,71	0,0033 <sup>e</sup>
Agua residual	560,3	97,66	5,74	0,0094 <sup>e</sup>
Estiércol*Rumen	-1962,0	467,6	-4,19	0,0041 <sup>e</sup>
Estiércol*Agua residual	-482,1	467,6	-1,03	0,3369
Rumen*Agua residual	-87,37	467,6	-0,17	0,8571
Estiércol*Rumen*Agua residual	-1,37·10 <sup>4</sup>	2689,0	-5,10	0,0014 <sup>e</sup>

<sup>e</sup> Probabilidad < 0,05 se consideró como significativa.

Aplicando el análisis de regresión múltiple en la matriz de diseño y las respuestas dadas en la Tabla 3.6, y la significación de los parámetros del modelo cúbico especial, para predecir la producción de metano en la codigestión anaerobia de residuales generados en el procesamiento de cárnicos, de la Tabla 3.5; el modelo matemático se define como sigue, donde las interacciones estiércol – agua residual, y rumen – agua residual fueron excluidas por no ser significativas:

$$\begin{aligned}
 \text{Producción de metano} = & 1501 \text{ Estiércol} + 948,1 \text{ Rumen} + 560,3 \text{ Agua residual} - \\
 & 1962 \text{ Estiércol} * \text{Rumen} - 1,37 \cdot 10^4 \text{ Estiércol} * \text{Rumen} * \text{Agua residual}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Como se mencionó anteriormente, los altos valores de  $R^2$ ,  $R^2_{\text{ajustado}}$  y  $R$  indicaron que el modelo cúbico especial fue adecuado para representar la codigestión anaerobia en el dominio experimental dado. La Figura 3.17 muestra la buena correlación entre los valores observados y predichos de las respuestas y los modelos matemáticos seleccionados. La dispersión de los puntos de producción de biogás alrededor de la línea diagonal indica un buen ajuste del modelo matemático.



**Figura 0-17** Valores observados y predicho por el modelo cúbico especial de la producción de metano acumulada. (3.1)

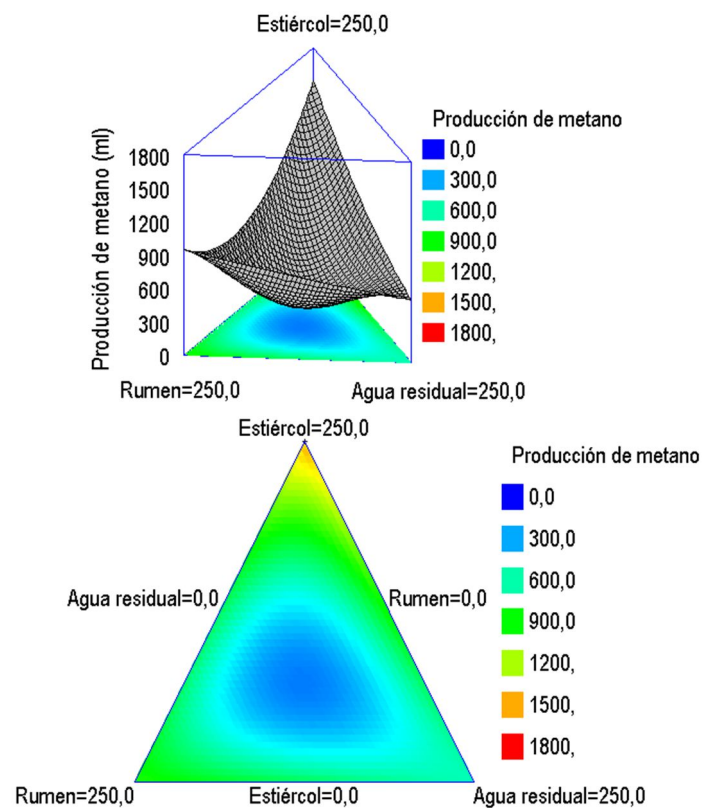
Por otro lado, los valores observados de producción de metano acumulado y los predichos por el modelo matemático, además de los residuos. Para todos los casos, ambos residuos indican que las varianzas para los efectos son razonablemente homogéneas. Esto evidencia también la adecuación del modelo matemático para predecir la producción de metano.

Las suposiciones que fundamentan el ANOVA están basadas en que los errores están normalmente distribuidos. Las herramientas principales de diagnóstico están establecidas en los residuos. Un procedimiento útil consiste en construir una gráfica de probabilidad normal de los residuos. La distribución acumulada de los residuos en un papel de probabilidad normal es normal si esta parece una línea recta. En la gráfica de probabilidad normal, los residuos son útiles para detectar violaciones en la suposición de normalidad, además de proporcionar una estandarización de las estadísticas bajo condiciones ideales.

### **3.7 Análisis de la superficie de respuesta y determinación de las condiciones óptimas.**

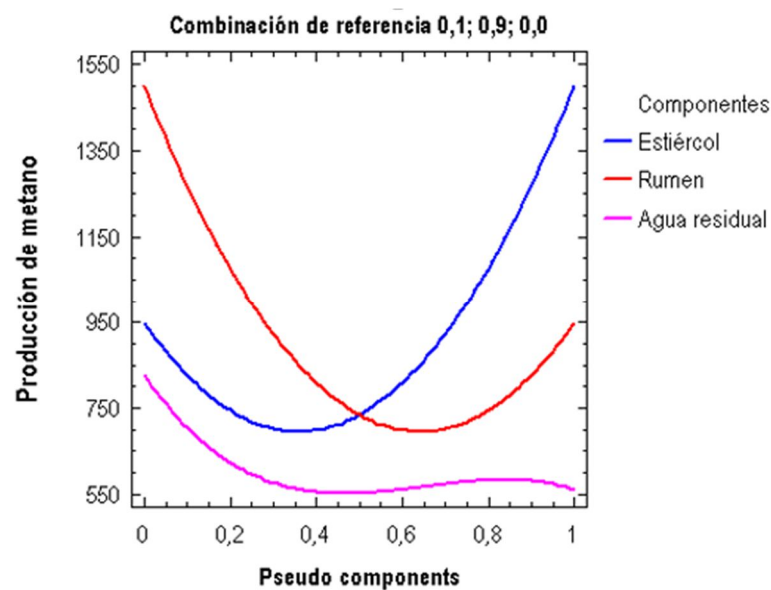
La finalidad de la optimización de mezclas de diferentes substratos para una o varias respuestas de interés que puede ser predicha usando una metodología de superficie de respuesta triangular como diagramas triaxiales (Prakasham *et al.*, 2009). Estas

representaciones gráficas son una combinación de los factores principales en la representación de la respuesta. La región óptima está definida como una región convexa del diseño experimental para el cual la producción obtenida de alguna proporción es superior a la obtenida por alguna otra proporción (Rispoli y Shah, 2008). Por eso, para obtener un mejor entendimiento del efecto en la codigestión anaerobia de los substratos seleccionados un gráfico 3D (Figura3.8) fue seleccionado basado en el modelo cuadrático (Ec. 2.3) para modelar la producción de biogás. Las Figuras3.18a y3.18b muestran la superficie y el contorno triangular de la respuesta estimada demostrando la naturaleza no lineal de la superficie en 3D, debido a posibles interacciones entre las variables independientes. Las mayores observaciones de producción de metano se determinaron en las cercanías del triángulo donde se encuentran los niveles superiores de estiércol. Estos resultados indican que en la codigestión anaerobia de estos residuos y para obtener altas producciones de metano las proporciones de estiércol deben ser elevadas.



**Figura 0-18** Representación de la producción de metano correspondiente al modelo cúbico especial: a) superficie de respuesta; b) contorno de la superficie estimada.(3.1)

El ploteo de señales es una herramienta de diagnóstico útil para evaluar la importancia de los componentes de la mezcla, y ésta muestra cómo cambia la respuesta cuando cada componente es aumentado o disminuido (Rao y Baral, 2011a). La Figura 3.19 muestra el ploteo de señales de los substratos estiércol, rumen y agua residual. A medida que se incrementaron las porciones de estiércol se observó un efecto beneficioso en la producción de biogás cercanos a sus niveles máximos. Por otro lado, al aumentar las proporciones de rumen y agua residual se observaron efectos antagónicos similares en los niveles de biogás.



**Figura 0-19** Ploteo de señales para evaluar la importancia de los componentes de la mezcla.

Teniendo seleccionado el modelo matemático de comportamiento de proceso, se procedió a determinar las proporciones óptimas ideales de las mezclas que maximizan el rendimiento de la respuesta. Las proporciones óptimas obtenidas del análisis fueron: estiércol = 100 %; rumen = 0 %; agua residual = 0 %. Para esta combinación de substratos el rendimiento máximo calculado de producción de biogás fue 1501ml<sub>metano</sub>.

Según el modelo matemático, la combinación óptima se obtiene cuando se degrada solamente el estiércol; pues al aumentar las proporciones de rumen y agua residual, los rendimientos de metano disminuyen. Según Pagés-Díaz *et al.* (2014) los residuales del procesamiento de cárnicos pueden ser un sustrato atractivo para la

producción de biogás. Sin embargo, varios estudios han reportado que elevadas concentraciones de lípidos y grasas presente en estos sustratos pueden causar inhibición al proceso de digestión anaerobia (Edström *et al.*, 2003; Alvarez y Lidén, 2008; Cuetos *et al.*, 2008). Los altos contenidos de lípidos pueden provocar una disminución en la producción de metano y una reducción de la tasa de hidrólisis (Neves *et al.*, 2008). Los otros sustratos individuales tuvieron una menor concentración de esos compuestos, por eso se observó un incremento en las producciones de metano en los ensayos evaluados.

### 3.8 Evaluación de las potencialidades energéticas del biogás.

Al realizar el análisis de los datos mensuales promedio recolectados durante 4 años sobre la cantidad de animales sacrificados en la entidad (Tabla 3.7), y en el procesamiento de los mismos, se obtuvieron las cantidades promedio de la biomasa generada a tratar, y se muestran en la Tabla 3.8. En esta tabla se observan los residuos por tipo, a partir de los animales que dan origen a estos; no obstante, para la utilización de estos datos en el diseño del biodigestor se consideró el residual generado por cada uno de los tipos de animales en el matadero en la etapa de mayor productividad, la cual fue el año 2014.

**Tabla 0-6** Cantidad de animales sacrificados por año en el periodo (2011-2014)

<b>Años</b>	<b>2011</b>		<b>2012</b>		<b>2013</b>		<b>2014</b>	
<b>Meses</b>	<b>vacuno</b>	<b>cerdos</b>	<b>vacuno</b>	<b>cerdos</b>	<b>vacuno</b>	<b>cerdos</b>	<b>vacuno</b>	<b>Cerdos</b>
Enero	838	1506	725	1761	746	2824	742	3340
Febrero	827	2414	793	2150	740	3342	862	3532
Marzo	857	2633	506	2119	698	2980	801	3778
Abril	682	2860	598	2958	514	3610	559	3789
Mayo	796	2764	458	1721	538	3481	555	3944
Junio	515	3010	533	3023	698	3469	603	3652
Julio	662	3175	842	3978	758	4173	699	3296
Agosto	907	3256	844	3642	983	3640	833	3097
Septiembre	1032	2861	951	3492	1028	4202	863	4004
Octubre	1232	4302	1086	4653	1221	3990	1180	5789
Noviembre	1098	4381	1494	4256	1221	3962	1977	6292
Diciembre	1154	4462	1373	3675	1564	3779	1767	6171
<b>Promedio</b>	<b>10600</b>	<b>37624</b>	<b>10203</b>	<b>37428</b>	<b>10709</b>	<b>43452</b>	<b>11441</b>	<b>50684</b>

**Tabla 0-7** Biomasa anual para la producción de biogás generada en la UEB Cárnicos Bayamo.

<b>Tipo de residual</b>	<b>Cantidad de biomasa residual(m<sup>3</sup>)</b>
Vacuno	276,8
Porcino	88,7
Total	365,5

Por tanto, aproximadamente en la UEB Cárnico Bayamo se generan un total de 276,8m<sup>3</sup> diarios de residual de origen vacuno y 88,7 m<sup>3</sup>. Por tanto, aproximadamente un volumen de 1 m<sup>3</sup> diario de materia sólida orgánica fue utilizada para el diseño de un biodigestor anaerobio de cúpula fija, tipo GBV, para la producción de biogás.

### ***Valoración energética de la producción de biogás a partir de residuos de productos cárnicos.***

Aplicando las ecuaciones matemáticas obtenidas se determinó que la producción de biogás diaria en la UEB cárnicos Bayamo es de **10.4 m<sup>3</sup>** lo que representa un valor de **3796 m<sup>3</sup>** en un año, lo que representan 5,2 kW diarios obtenidos en un motor a gas con eficiencias entre (25 y 30)% lo que permitirá la sustitución de GLP en el Chamusquiador, el laboratorio y la cocina comedor para la cocción de los alimentos; así como la disminución del consumo de electricidad en el calentamiento de agua para el pelado de los cerdos

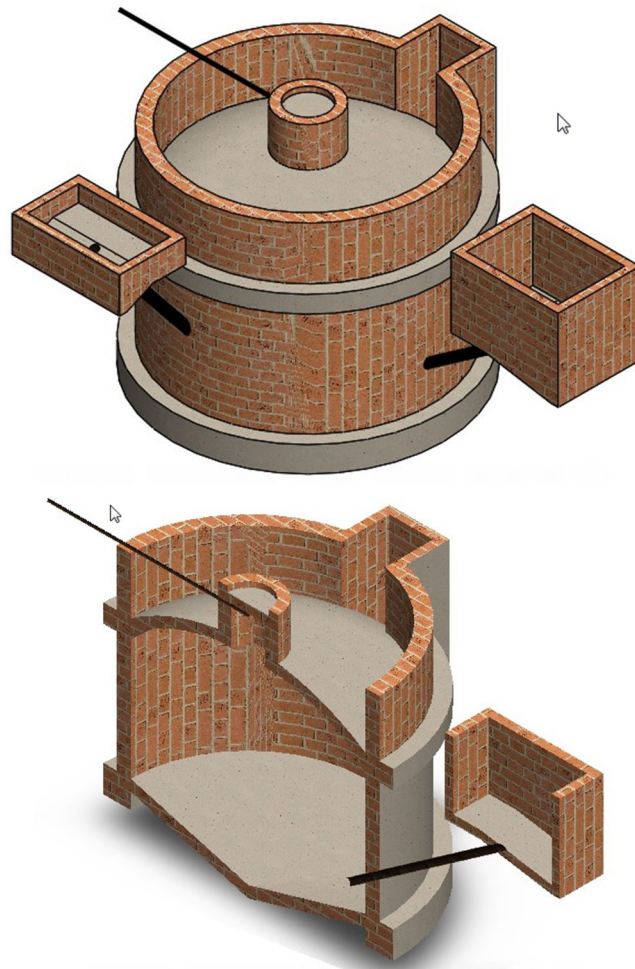
### **3.9 Diseño del biodigestor anaerobio para la producción de biogás.**

Los cálculos para el diseño del biodigestor anaerobio se realizaron con el empleo de la metodología expuesta en el capítulo anterior. Por tanto, y considerando que se realiza una dilución de la materia orgánica de 1:3 (una parte de residuo sólido y tres partes de agua) se tiene una cantidad de materia diaria aproximada de 3 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, con un tiempo de retención de 30 días, el volumen total del biodigestor será de 90 m<sup>3</sup>.

Una vez calculado el volumen total necesario para el sistema, se procedió a la selección del biodigestor con volúmenes prototipos, los cuáles comprenden volúmenes de 10 m<sup>3</sup>, 14 m<sup>3</sup>, 22,5 m<sup>3</sup>, 42,5 m<sup>3</sup> y 47,5 m<sup>3</sup>. Con los volúmenes de las biodigestores obtenidos mediante el cálculo, y utilizando los diseños prototipos, se



procedió a la selección de los volúmenes reales y sus parámetros constructivos, por lo que se decidió la selección de dos plantas de 47,5 m<sup>3</sup> para garantizar un mejor funcionamiento de las mismas, además de poder dar mantenimientos sin que se afecte el proceso de producción de biogás y de tratamiento de los residuales. Una representación en 3 dimensiones del biodigestor anaerobio propuesto de 47,5 m<sup>3</sup> se muestra en la figura 3.20.



**Figura 0-20** Representación en 3 dimensiones del biodigestor anaerobio propuesto de 47,5 m<sup>3</sup>.

Para determinar la cantidad de material necesario para la construcción de ambos biodigestores, se puede auxiliar de la Tabla 1.6 en el capítulo de materiales y métodos, la cual muestra los totales de materiales necesarios para su construcción; datos importantes para evaluar los costes de inversión del sistema de tratamiento.

### ***Producción de Biogás.***

Después de aplicar la ecuación se obtuvo que la producción predicha diaria de biogás a obtener, a partir del tratamiento de los residuales sólidos de la UEB Cárnicos Bayamo en reactores del tipo chino GBV, es de aproximadamente **10.4 m<sup>3</sup>dia**, con un 70 % de concentración de metano.

## CONCLUSIONES.

1. Los portadores energéticos que más inciden en los consumos de la UEB Cárnicos Bayamo son la Energía Eléctrica y el Fuel – Oil representando un 91.93% del total de los gastos en el período 2012-2014.
2. La situación actual de la UEB muestra que los niveles de eficiencia energética son bajos, la correlación lineal entre los consumos y la producción es débil.
3. Los residuales generados en la UEB Cárnico Bayamo se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica contaminante los cuáles no son completamente tratados por el actual sistema de tratamiento, y la descarga incumple los límites máximos permisibles promedio establecidos por la NC.
4. Según las predicciones del modelo matemático obtenido de las pruebas experimentales de codigestión anaeróbica se generan alrededor de 15 m<sup>3</sup> de biogás diario con una concentración de 70 % de metano.
5. Para tratar estos residuales se necesitan dos reactores de primera generación del tipo GBV de 47,5 m<sup>3</sup>, constituyéndose estos en la primera etapa de un sistema integrado de tratamiento de residuales de la UEB Cárnicos Bayamo.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Se asuma el indicador producción para el análisis de los consumos energéticos de la entidad.
2. Ejecutar la construcción de los reactores para la producción de biogás así como las modificaciones en el área de pelado para el uso de este en el calentamiento de agua y el chamusqueador.
3. Planificar inversiones para la adquisición de tecnologías energéticas eficientes.
4. Definir la capacidad de remoción de la carga contaminante de los residuales sólidos en los biodigestores anaerobios.
5. Concluir el estudio que permita definir la tecnología más apropiada para el tratamiento de los residuales líquidos, así como su potencial de producción de biogás.

#### IV- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABBASI, T.; S. M. TAUSEEF y S. A. ABBASI: "Anaerobic digestion for global warming control and energy generation - An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 3228-3242, 2012.

AGROWASTE: "Digestión anaerobia", *Life*: 2014.

ALRAWI, R.; A. AHMAD; N. ISMAIL y M.-O. KADIR: "Anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent with rumen fluid as a co-substrate", *Desalination*, 269: 50-57, 2011.

ALVAREZ, R. y G. LIDÉN: "Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste", *Renewable Energy*, 33: 726-734, 2008.

ARBOLEDA, I. Y. O.: *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA, 2009.

BANKS, C. J.: Anaerobic digestion of solid and high nitrogen content fractions of slaughterhouse wastes. Memorias de Environmentally Responsible Food Processing, AIChE Symposium, 1994, pp. 48-55, Servia. 1994.

BAYR, S.; O. PAKARINEN; A. KORPPOO; S. LIUKSIA; A. VÄISÄNEN; P. KAPARAJU y J. RINTALA: "Effect of additives on process stability of mesophilic anaerobic monodigestion of pig slaughterhouse waste", *Bioresource Technology*, 120: 106-113, 2012.

CASTILLO, A. L. G. Y. F. E. D. A.: *Evaluación del potencial energético de las aguas rojas originadas en la sala de cosecha de la Planta de Cárnicos de Zamorano*, INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO, Escuela Agrícola Panamericana, 2013.

CUBANA, N.: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. NC 27:1999. Ciudad de la Habana: Oficina Nacional de Normalización, pp. 1-15. 1999.

CUETOS, M. J.; X. GÓMEZ; M. OTERO y A. MORAN: "Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)", *Biochemical Engineering Journal*, 40: 99-106, 2008.

DE CASTRO, R. J. S. y H. H. SATO: "Synergistic effects of agroindustrial wastes on simultaneous production of protease and  $\alpha$ -amylase under solid state fermentation using a simplex centroid mixture design", *Industrial Crops and Products*, 49(0): 813-821, 2013.

DEMIRBAS, M. F.; M. BALAT y H. BALAT: "Biowastes-to-biofuels", *Energy Conversion and Management*, 52: 1815-1828, 2011.

DIAFE: *Centralised biogas plants - Integrated energy production, waste treatment and nutrient redistribution facilities* Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, 1999.

EDSTRÖM, M.; Å. NORDBERG y L. THYSELIUS: "Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale", *Applied Biochemistry & Biotechnology*, 109: 127-138, 2003.

FANG, C.; K. BOE y I. ANGELIDAKI: "Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure", *Wat. Res.*, 45: 3473-3480, 2011.

GEOCUBA: *Caracterización de residuales líquidos UEB "Bayamo"*, Empresa Cárnica Granma Grupo Empresarial GEOCUBA, Agencia Granma, Bayamo, Granma, 2013.

GUARDADO, J. A.: *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*, Ed. Editorial Cubasolar, Ciudad de la Habana, Cuba, 2007.

GUPTA, P.; R.-S. SINGH; A. SACHAN; A. VIDYARTHI y A. GUPTA: "A re-appraisal on intensification of biogas production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 4908-4916, 2012.

HILL, N.; H. WALKER; J. BEEVOR y K. JAMES: *Guidelines to Defra/DECC's GHG conversion factors for company reporting: Methodology paper for emission factors*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2011.

JIMÉNEZ, J.; Y. GUARDIA-PUEBLA; M. E. CISNEROS-ORTIZ; J. M. MORGAN-SAGASTUME; G. GUERRA y A. NOYOLA: "Optimization of the specific methanogenic activity during the anaerobic co-digestion of pig manure and rice straw, using industrial clay residues as inorganic additive", *Chemical Engineering Journal*, 259: 703-714, 2015.

KHALID, A.; M. ARSHAD; M. ANJUM; T. MAHMOOD y L. DAWSON: "The anaerobic digestion of solid organic waste", *Waste Management*, 31: 1737-1744, 2011.

LING, D. T.: A concept for processing carcass together with energy production. *Memorias de Proceedings of the 8th International Conference of Anaerobic Digestion*, 1997, pp. 436-439, Sendai, Japan. 1997.

LÓPEZ, I. y L. BORZACCONI: "Modelling of slaughterhouse solid waste anaerobic digestion: Determination of parameters and continuous reactor simulation", *Waste Management*, 30: 1813-1821, 2010.

MARAÑÓN MAISON, E.; Y. FERNÁNDEZ NAVA y L. CASTRILLÓN PELÁEZ: *Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales (PSE PROBIOGAS)*, Universidad de Oviedo, 54pp. 2009.

MNRE. Ministry of new and renewable energy. Booklets on renewable energy [en línea] Disponible en: <http://mnre.gov.in/re-booklets.htm> [Consulta: 04/02/12].

1 MURTO, M.; L. BJÖRNSSON y B. MATTIASSON: "Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure", *Journal of Environmental Management*, 70: 101-107, 2004.

NASR, N.; E. ELBESHISHY; H. HAFEZ; G. NAKHLA y M. HESHAM: "Comparative assessment of single-stage and two-stage anaerobic digestion for the treatment of thin stillage", *Bioresource Technology*, 111: 122-126, 2012.

NERY, V. D.; E. POZZI; M. H. R. Z. DAMIANOVIC; M. R. DOMINGUES y M. ZAIAT: "Granules characteristics in the vertical profile of a full-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor treating poultry slaughterhouse wastewater", *Bioresource Technology*, 99: 2018-2024, 2008.

NEVES, L.; E. GONCALO; R. OLIVEIRA y M. M. ALVES: "Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures", *Waste Management*, 28: 965-972, 2008.

PAGÉS-DÍAZ, J.; I. PEREDA-REYES; M. J. TAHERZADEH; I. SÁRVÁRI-HORVÁTH y M. LUNDIN: "Anaerobic co-digestion of solid slaughterhouse wastes with agro-residues: Synergistic and antagonistic interactions determined in batch digestion assays", *Chemical Engineering Journal*, 245: 89-98, 2014.

PAUL, E.; V. ATIEMO-OBENG y S. KRESTA: *Handbook of industrial mixing: science and practice*, Ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2004.

PRAKASHAM, R. S.; T. SATHISH; P. BRAHMAIAH; C. S. RAO; R. S. RAO y P. HOBBS: "Biohydrogen production from renewable agri-waste blend: Optimization using mixer design", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 6143-6148, 2009.

RAO, P. V. y S. BARAL: "Experimental design of mixture for the anaerobic co-digestion of sewage sludge", *Chemical Engineering Journal*, 172(977-986): 2011a.

RAO, P. V. y S. S. BARAL: "Experimental design of mixture for the anaerobic co-digestion of sewage sludge", *Chemical Engineering Journal*, 172: 977-986, 2011b.

RASI, S.; A. VEIJANEN y J. RINTALA: "Trace compounds of biogas from different biogas production plants", *Energy*, 32: 1375-1380, 2007.

RISPOLI, F. y V. SHAH: "Optimization of the Media Ingredients for Cutinase Production from *Colleotrichum lindemuthianum* Using Mixture Design Experiments", *Biotechnology Progress*, 24: 648-654, 2008.

ROSENWINKEL, K.-H.: "Anaerobic treatment of slaughterhouse residues in municipal digesters", *Water Science & Technology*, 40(1): 105-111, 1999.

SALMINEN, E. y J. RINTALA: "Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review", *Bioresource Technology*, 83: 13-26, 2002a.

SALMINEN, E. A. y J. A. RINTALA: "Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: Effect of hydraulic retention time and loading", *Water Research*, 36: 3175-3182, 2002b.

SANTOSH, Y.; T. SREEKRISHNAN; S. KOHLI y V. RANA: "Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review", *Bioresour. Technol.*, 95: 1-10, 2004.

SREELA-OR, C.; T. IMAI; P. PLANGKLANG y A. REUNGSANG: "Optimization of key factors affecting hydrogen production from food waste by anaerobic mixed cultures", *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 14120-14133, 2011.

STATGRAPHICS, P.: "Edición profesional", *Statistical Graphics Corp.USA*: 2000.

WANG, J. y W. WAN: "Experimental desing methods for fermentative hydrogen production: A review", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 235-244, 2009.

WYMYSLOWSKI, M.; M. LUCZAK; A. ZAWADZKA; M. IMBIEROWICZ y A. CHACUK: "Methane fermentation of poultry slaughterhouse waste", *Polish Journal of Chemical Technology*, 12(3): 15-18, 2010.

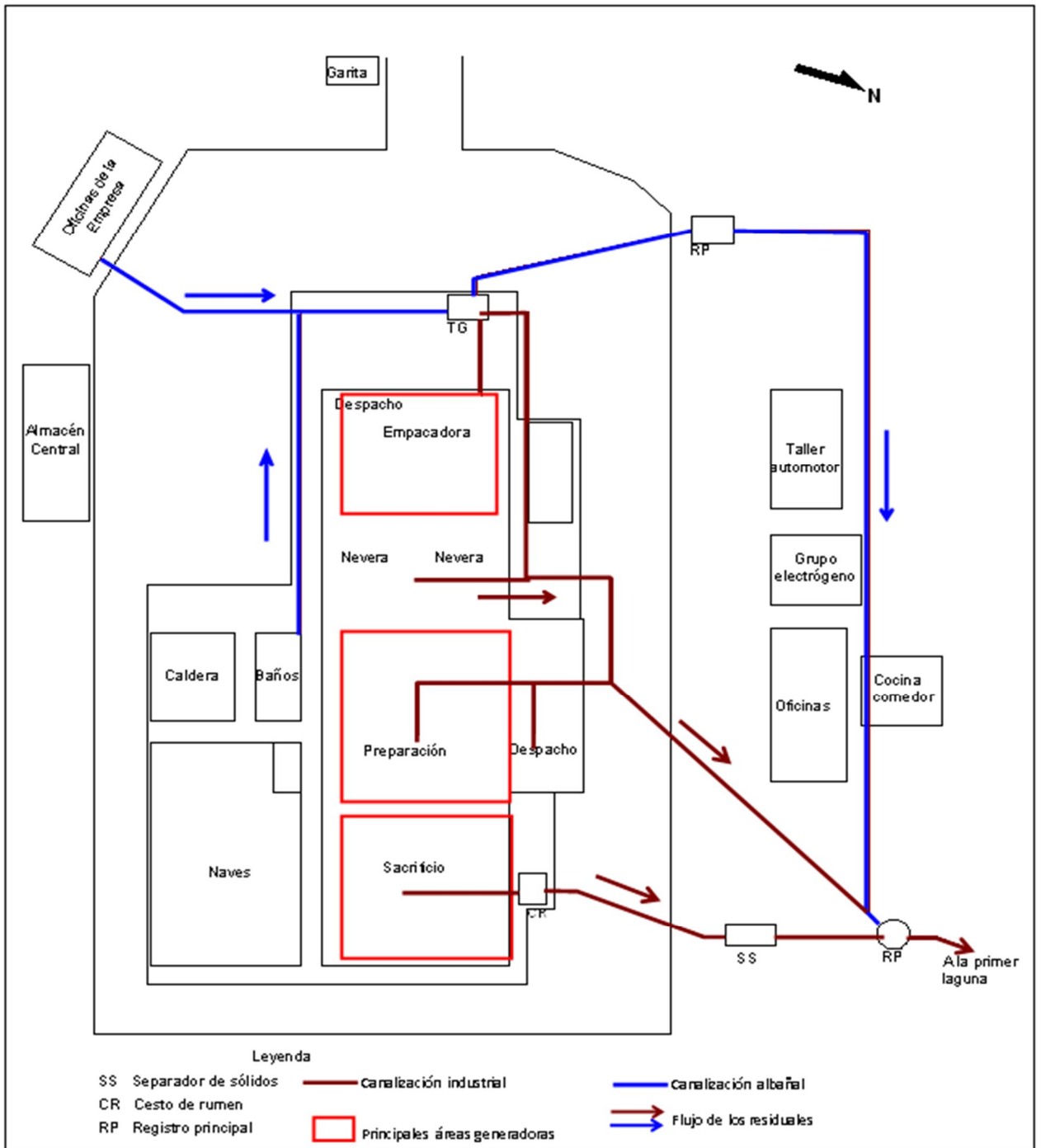
YADVIKA; SANTOSH; T. R. SREEKRISHNAN; S. KOHLI y V. RANA: "Enhancement of biogas production from solid substrates using differents techniques - a review", *Bioresource Technology*, 95: 1-10, 2004.

YASAR, A. y A. B. TABINDA: "Anaerobic treatment of industrial wastewater by UASB reactor integrated with chemical oxidation processes; an overview", *Polish J. of Environ. Stud.*, 19(5): 1051-1061, 2010.

ZGLOBISZ, N.; A. CASTILLO-CASTILLO; S. GRIMES y P. JONES: "Influence of UK energy policy on the deployment of anaerobic digestion", *Energy Policy*, 38: 5988-5999, 2010.



# ANEXOS



**Anexo 1** Ubicación de las áreas generadoras y sistema de evacuación de los residuales.

