

Contribución a la introducción de lagunas anaeróbicas

aplicando métodos Matemáticos- Físicos

Autor:

Ing. Yeney Martínez Pérez

Grupo de Bioenergía

CUBAENERGIA

Caracterización de residuales:

Tipo	Industria	DQO (mg/l)	DBO5(mg/l)	N(mg/l)	ST(g/l)	SV(g/l)
Ganadera	Porcino	4000-7000	1200-1500	200-450	300-1500	
	Ganado menor	4000-12000	3000-5000	200-500	400-2500	
Avícola	Aves de Corral	2500-3500	1500-2500		350-800	
Agroindustrial	Cerveceras		80000			
	Destilerías	26000-168000	38000-63000	20-322	45000-68000	33000-44000
	Azucarera	180-61000	180-58000	0-84	940-23000	1440-14500
	Agrícola	Variado, depende del tipo de desecho				
	Lácteos	3000-6000	1200-3000	0,2-10	250-1600	
Aguas Domésticas	Aguas residuales domésticas	250-1000	110-400		35-720	105-200
Pesca	extracción de aceite de pescado	10000-20000	3000-20000	300-500	25	4
NORMA Cubana NC 27	límite máximo permisible promedio (LMPP)	700	300	20		

Tecnologías

Procesos

Aeróbicos

Anaeróbicos

Fangos
activados

Laguna
aireada

Bio-disco
rotativos

Filtros
percoladores

Digestión
anaerobia

Lecho
expandido

Ventajas:

- facilidad de operación del sistema,
- bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica,
- no genera olores molestos,
- reduce la cantidad de coliformes fecales y de organismos patógenos
- produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO5, con pocos sólidos y poco fósforo.

Desventajas:

- altos costos de operación causados por los altos consumos de energía necesaria para el suministro de aire al proceso,
- falta de parámetros y criterios claros para el diseño
- dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

Tecnologías aeróbicas



Lagunas aireadas



Fangos activados



Discos Rotativos



Filtros Percoladores

- Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles.
- En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.
- Los principales productos del proceso de digestión anaerobia son el biogás y el bioabono

Práctica internacional de la digestión Anaeróbica

País: Suecia

Fuente de biomasa: excreta de 320 cabezas de ganado y residuos de alimentos

Volumen del biodigestor:
510 m³



País: España.

Fuente de biomasa: 1.600 toneladas/ año de estiércol y forraje.

Volumen del biodigestor: 257 m³



Práctica internacional de la digestión Anaeróbica

País: España

Fuente de biomasa: 2.800 toneladas/anuales de subproductos procedentes de industrias de transformación de verduras y patatas.

Volumen del biodigestor: 570 m³



País: Polonia

Fuente de biomasa: 35-40 t/diarios de purines de cerdo y 4-5t/diarias de glicerina

Volumen del biodigestor: 1.000 m³



Práctica internacional de la digestión Anaeróbica

País: Francia

Fuente de biomasa: 1.045 toneladas / año de estiércol de vacunos, conejos y aves de corral, restos de frutas, vegetales, cereales y otros co-sustratos.

Volumen de biodigestor: 740 m³



País: Francia

Fuente de biomasa: 5.000 Toneladas de subproductos de la fruta /año



Práctica internacional de la digestión Anaeróbica

País: Irlanda

Fuente de biomasa: 4 m³/día.

Volumen del biodigestor: 140m³.



País: México

Fuente de biomasa: excreta de 25000 cerdos.

Volumen del digestor:



En Cuba predominan los biodigestores a pequeña escala, entre los más comunes se encuentran:

- 1- Biodigestores de campana flotante o tipo hindú.
- 2 - Biodigestores de cúpula fija o tipo chino.
- 3 - Biodigestores tubulares.



En ejecución la construcción del biodigestor tipo laguna tapada en el municipio matancero de Martí por parte de la empresa mexicana GT Energía Renovable.

La compleja automatización de las grandes instalaciones europeas y chinas, además de los costos elevados por construcción y mantenimiento, hacen atractiva la opción de las lagunas tapadas como tecnología para implementar en Cuba.

Metas del diseño:

- Reducir el TRH
- Disminuir los costos iniciales y de operación:
- Incrementar los rendimientos en la producción de biogás

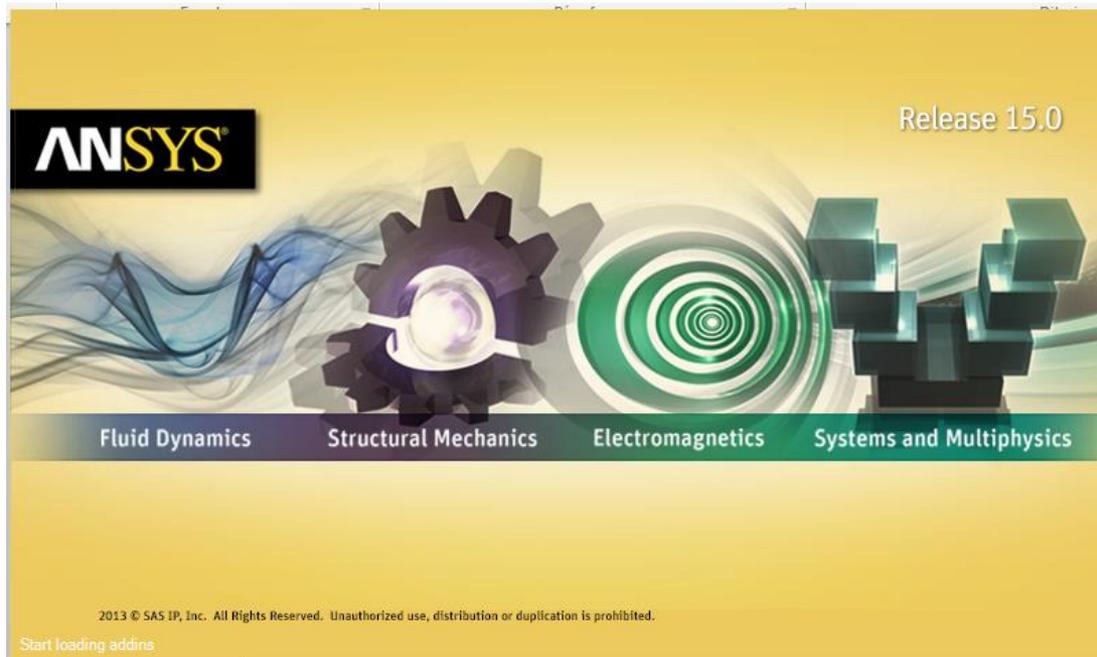
Aspectos a considerar en el diseño:

- Temperatura
- Comportamiento hidrodinámico
- mezclado

Modelación

Haciendo uso de modelaciones físicas - matemáticas se puede contribuir al mejoramiento de la tecnología

El programa de análisis computacional de la dinámica de fluidos (ANSYS) emplea modelos matemáticos de elementos finitos a través de la discretización del espacio de una geometría dada y con condiciones de frontera establecidas



Resuelve sistemas de ecuaciones complejos. Ejemplos:

Conducción y convección

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \ddot{q} \quad \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta_{ji}}{\varepsilon_i} - F_{ji} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \right) \frac{1}{A_i} Q_i = \sum_{i=1}^N (\delta_{ji} - F_{ji}) \sigma T_i^4$$

Continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$$

Sistema de ecuaciones de Navier-Stokes

$$\frac{\partial \rho v_x}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x v_x)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y v_x)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z v_x)}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$+ R_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + T_x$$

$$\frac{\partial \rho v_y}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x v_y)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y v_y)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z v_y)}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$+ R_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + T_y$$

$$\frac{\partial \rho v_z}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x v_z)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y v_z)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z v_z)}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z}$$

$$+ R_z + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + T_z$$

Pasos para la solución de un problema en ANSYS

GEOMETRÍA

```
graph TD; A[GEOMETRÍA] --> B[MALLA]; B --> C[MODELO]; C --> D[SOLUCION];
```

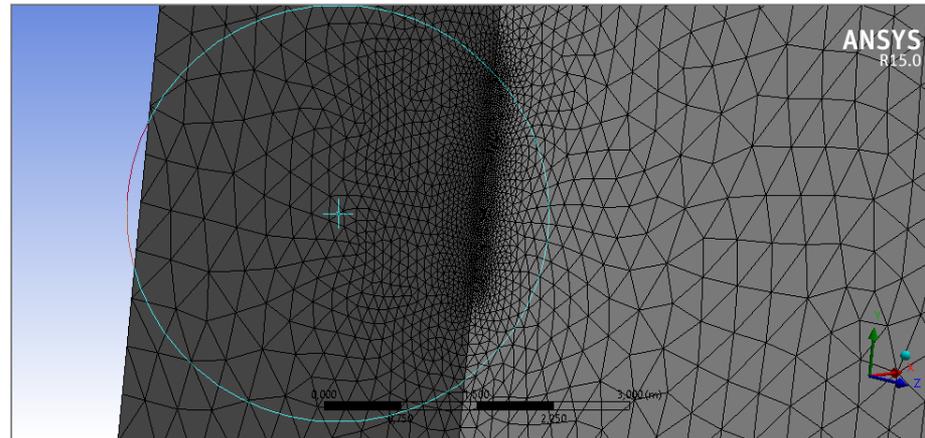
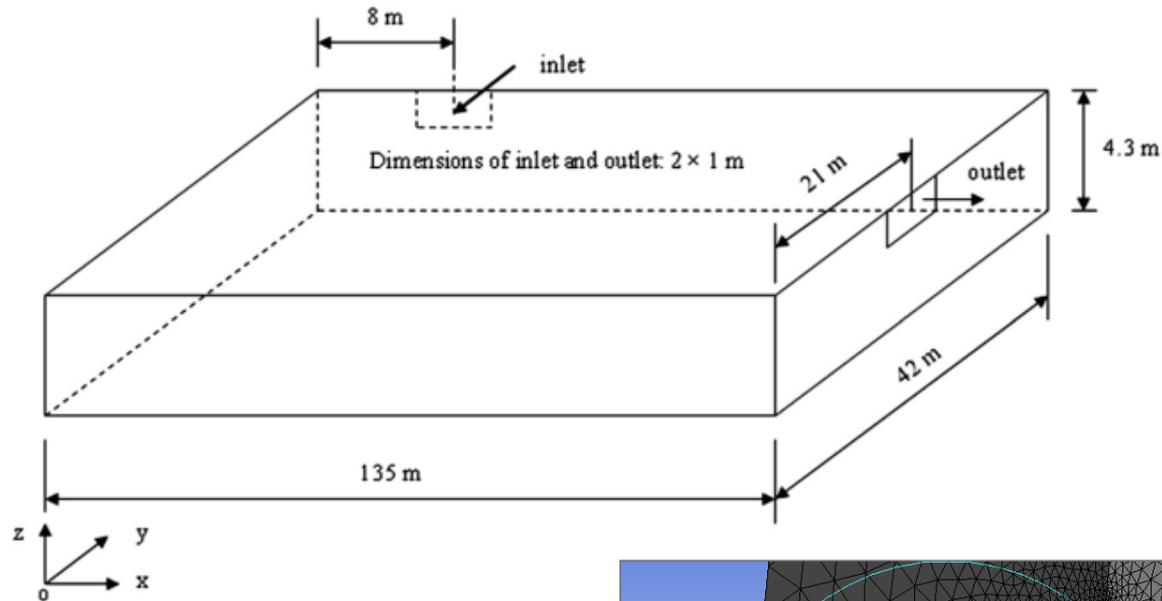
MALLA

MODELO

SOLUCION

Ejemplo:

Se tiene una laguna con la siguiente geometría:



Ejemplo:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

Modelo de flujo

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i$$

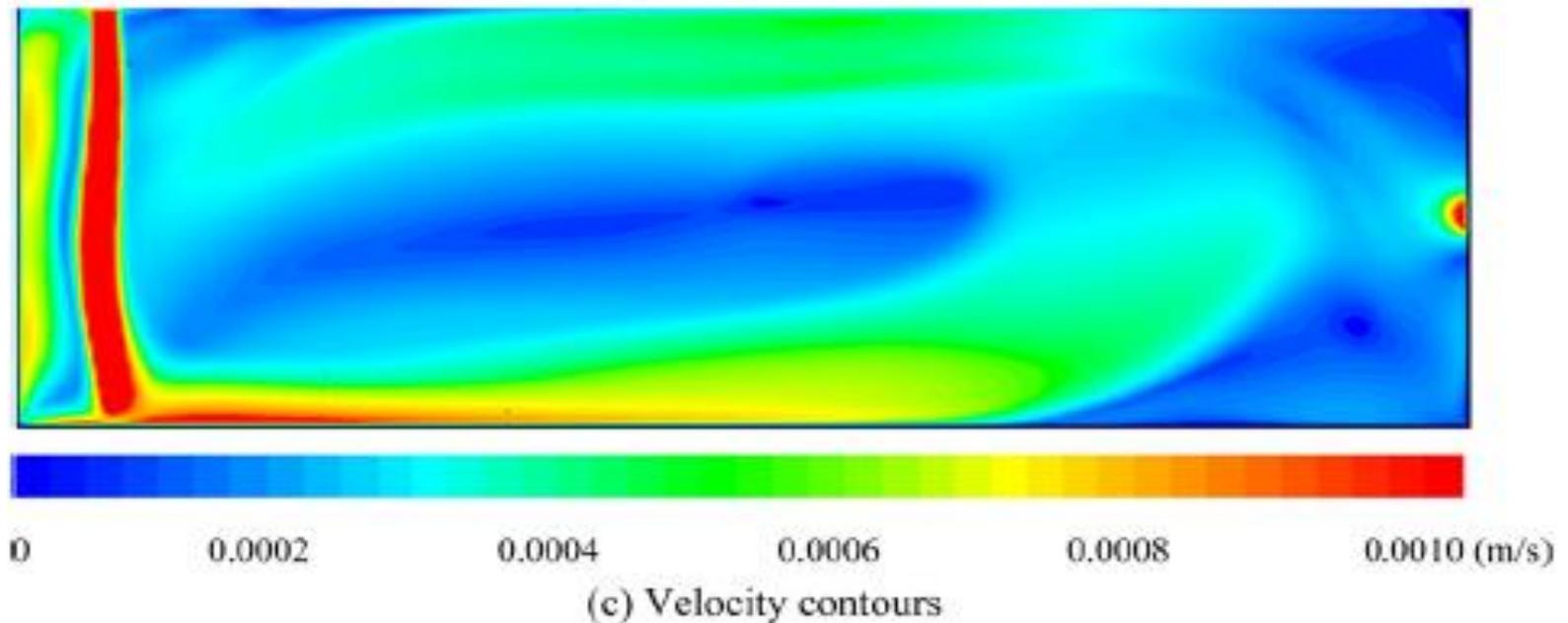
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho T u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k_{eff}}{c_p} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + S_h$$

Modelo de transferencia de calor

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i \phi_k - \Gamma_k \frac{\partial \phi_k}{\partial x_i} \right) = S_{\phi_k}$$

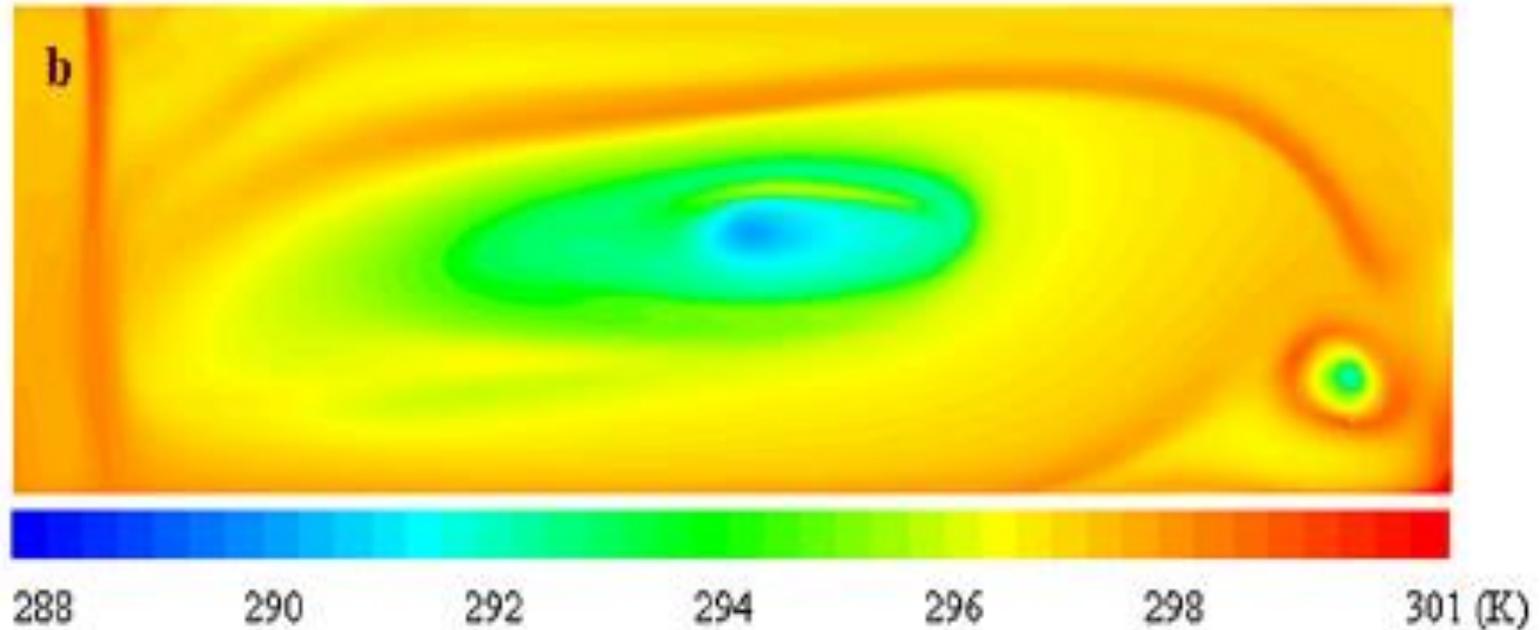
Modelo de tiempo de residencia

Resultado 1



La imagen muestra la escala de velocidades de una instalación de $2z4300 \text{ m}^3$, se puede apreciar las zonas azules donde la velocidad del fluido es aproximadamente 0 por lo que se encuentra estancado.

Resultado 2



La imagen muestra la distribución de temperatura de la instalación en K, se puede observar donde se encuentra la menor temperatura para este caso.

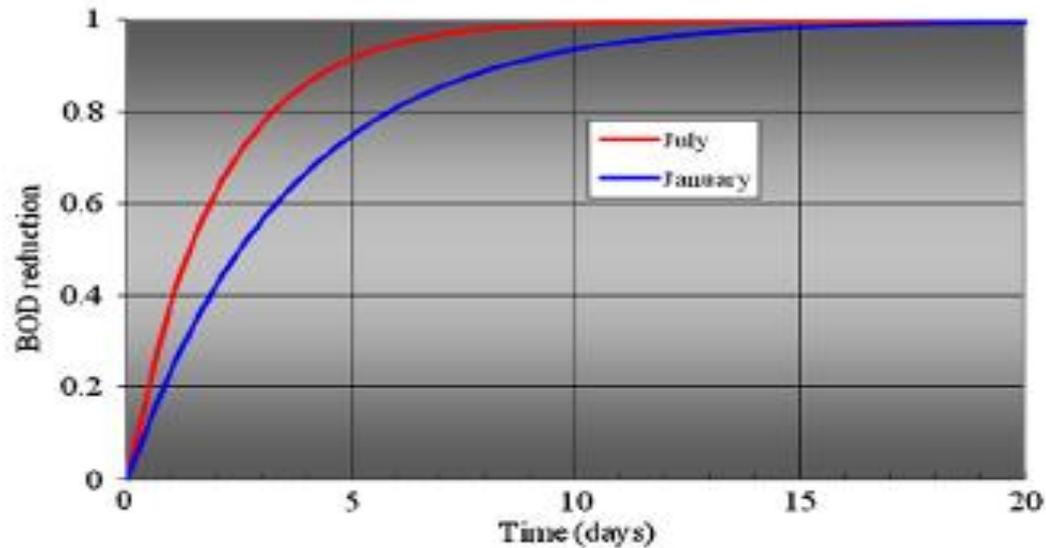


Fig. 4. BOD reduction versus resident time.

La imagen muestra otro de los resultados que se pueden obtener haciendo uso de este recurso. Se observa en este ejemplo que para el mes de julio (verano) existe una mayor reducción de la carga orgánica (línea roja) que durante el mes de enero (invierno, línea azul)

Para la implementación de estos métodos es necesario un campo de muestra.

Se trabaja para la creación de una instalación con todas las tecnologías de medición, donde se puedan realizar los estudios y comprobar la validez de los cálculos.

Estos son algunos de los ejemplos del empleo métodos físicos-matemático. A través de ellos se pueden analizar mejor los procesos que ocurren dentro de un biodigestor y lograr una comprensión profunda de los perfiles de flujo, distribución de temperatura, etc.

En función de los resultados obtenidos de la implementación de los modelos se puede modificar la tecnología para una mayor producción de metano por unidad de volumen y mayor degradación de la materia orgánica en menor tiempo.