



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil Mecánica

## DISEÑO Y SELECCION DE ELEMENTOS PARA UNA PLANTA DE BIOGAS

Tesis para optar al Título de:  
**Ingeniero Mecánico**

Profesor Patrocinante:  
Sr. Roberto Cárdenas Parra.  
Ingeniero Mecánico.  
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.  
Diplomado en Ingeniería Mecánica.

CRISTIAN ALBERTO TÉLLEZ SANTANA  
VALDIVIA-CHILE  
2008

El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes de Trabajo de Titulación comunican al Director de Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación del señor:

***CRISTIAN ALBERTO TELLEZ SANTANA***

Ha sido aprobado en el examen de defensa rendido el día ....., como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para así conste para todos los efectos firman:

PROFESOR PATROCINANTE

Roberto Cárdenas Parra

.....

Ing. Mecánico.

PROFESORES INFORMANTES

Roberto Daroch Pérez

.....

Ing. Agr., M.S.

Marcelo Paredes Cifuentes

.....

Ing. Mecánico.

## INDICE

| Capitulo |  | Página |
|----------|--|--------|
|          | RESUMEN                                  | 1      |
|          | SUMARY                                   | 2      |
| 1        | INTRODUCCION                             | 3      |
| 2        | MARCO TEORICO                            | 3      |
|          | 2.1 La Biomasa                           | 3      |
|          | 2.2 La Biomasa Disponible                | 3      |
|          | 2.3 Métodos de Conversión de la Biomasa  | 4      |
|          | 2.4 Producto de la Digestión Anaeróbica  | 5      |
|          | 2.5 La Digestión Anaeróbica              | 7      |
|          | 2.6 Variables en la Producción de Biogás | 10     |
|          | 2.7 Características del Biogás           | 12     |
|          | 2.8 Situación del Biogás en Chile        | 12     |
| 3        | JUSTIFICACION DEL PROYECTO               | 13     |
|          | 3.1 Beneficios del tipo Ambiental        | 13     |
|          | 3.2 Beneficios de tipo Socio-Económico   | 13     |
|          | 3.3 Beneficios del tipo Tecnológicos     | 13     |
| 4        | DEFINICION DEL PROBLEMA                  | 14     |
| 5        | OBJETIVOS DEL PROYECTO                   | 15     |
|          | 5.1 Objetivo General                     | 15     |
|          | 5.2 Objetivos Específicos                | 15     |
|          | 5.3 Metodología de Trabajo               | 15     |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 6  | SELECCIÓN DEL DIGESTOR  | 16 |
|    | 6.1 Tipos de Biodigestores                                    | 16 |
|    | 6.2 Características de los Biodigestores                      | 19 |
|    | 6.3 Biodigestores de Segunda Generación                       | 20 |
|    | 6.4 Selección del tipo de Biodigestor                         | 22 |
|    | 6.5 Esquema Simplificado de la Instalación                    | 24 |
| 7  | CARACTERIZACION DEL ESTIERCOL Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR | 25 |
|    | 7.1 Caracterización del estiércol                             | 25 |
|    | 7.2 Dimensionamiento del digestor                             | 26 |
| 8  | CALCULO ENERGETICO DIGESTOR E INTERCAMBIADOR                  | 32 |
|    | 8.1 Calculo energético del digestor                           | 32 |
|    | 8.2 Calculo del intercambiador de calor tipo coraza y tubos   | 34 |
| 9  | DETEMINACION DE PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS             | 39 |
| 10 | SELECCIÓN DEQUIPOS  | 44 |
|    | 10.1 Caldera y Quemador                                       | 44 |
|    | 10.2 Agitador   | 45 |
|    | 10.3 Válvulas y Actuadores                                    | 46 |
|    | 10.4 Bombas centrifugas                                       | 46 |
| 11 | FILOSOFIA DE CONTROL  | 48 |
| 12 | CONDUCCION Y UTILIZACION DEL BIOGAS                           | 51 |
|    | 12.1 Conducción   | 51 |
|    | 12.2 Trampas de Agua  | 52 |
|    | 12.2 Trampas de Acido   | 52 |
|    | 12.4 Utilización  | 54 |
| 13 | UTILIZACION Y ALMACENAMIENTO DEL EFLUENTE                     | 55 |

|    |                  |    |
|----|------------------|----|
| 14 | CUADRO DE COSTOS | 56 |
| 15 | CONCLUSIONES     | 57 |
| 16 | BIBLIOGRAFIA     | 58 |
| 17 | ANEXOS           | 61 |
| 18 | PLANOS           | 74 |

## RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo diseñar y seleccionar los componentes básicos de una planta de biogás, que sea capaz de recepcionar las excretas de un plantel de 100 vacas lecheras.

En primer lugar se da a conocer aspectos básicos del proceso de digestión anaeróbica y variables que influyen en el mismo, con el fin de mantener los rangos adecuados y así lograr tener bajo control el proceso.

Se dieron a conocer los tipos de digestores en el que finalmente se decide la mejor opción justificando la elección, seguido del dimensionamiento del diseño seleccionado. Después de lo anterior se procedió a seleccionar los elementos básicos y filosofía de control del sistema.

Finalmente se realizó una cuantificación del costo de construir una planta de las características seleccionadas y dando lugar a las conclusiones del trabajo.

## **SUMMARY**

The aim of the following work is to design and select the basic components of a biogas plant, which is capable of collecting the excreta of 100 dairy cows.

First of all, the report explains the basic aspects in the anaerobic digestion process and the influent variables on it, with the purpose of maintaining suitable ranges in order to have the process under control.

Different types of digesters are described, and the best option is taken justifying it, followed by the dimension of the chosen design. After that, the selection of the basic elements and the system control philosophy was done.

Finally, it is presented the cost quantification about a plant building with the selected characteristics, as well as the conclusion of this work.

## 1. INTRODUCCION

El rápido desarrollo industrial y demográfico en que nos encontramos, nos ubica en un escenario poco amigable, debido al agotamiento de una de nuestras principales fuentes de energía los hidrocarburos y también al aumento del volumen de nuestros residuos. Esto ha demandado la necesidad de buscar soluciones en lo que comprende a nuevas formas de producción de energía con recursos renovables y nuevas estrategias para la eliminación de residuos, principalmente biológicos que son el principal riesgo para el medio ambiente debido a su degradación biológica incontrolada (GTZ, 2003).

Como una de las respuestas a estas necesidades surge el “biogás”.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 La Biomasa

La Biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica. La energía almacenada en la biomasa es producto del proceso fotosintético, principalmente acumulado en los almidones, azúcares, celulosa y lignina.

La Biomasa presenta diversas formas de utilización, como lo son: alimento, fibra, materia orgánica del suelo, material estructural y como combustible (para producir calor, vapor y/o electricidad). (Biava, 1988)

#### 2.1.1 Biomasa Disponible

- Bosques: En la actualidad es la única biomasa realmente explotada, pero los únicos países que pueden suplir sus necesidades energéticas con este recurso, son los países en donde su densidad poblacional y la

demanda de este recurso son bajos. De la explotación forestal se puede obtener: leña, ramaje, follaje, etc.(Universidad Nacional del Nordeste, 2000)

- Residuos Agrícolas y Deyecciones: Esta es una importante fuente de bioenergía, aunque no siempre es recomendable utilizarlas. Por ejemplo en el caso de la paja, el estiércol, purines, etc., siempre cuando estas no afecte a la fertilidad del suelo o a la productividad agrícola.(Universidad Nacional del Nordeste, 2000)

**Purines:** es un liquido posible de ser bombeado, compuesto principalmente de fecas, orines y de pequeñas cantidades de agua, heno, paja, restos de concentrados, aserrín y tierra. (Hoyer y Traulsen, 1976)

- Cultivos Energéticos: Consiste en cultivar vegetales, para utilizarlos como energía, como ejemplos de este tipo se encuentra el raps, la caña de azúcar, jacinto de agua, etc.(Universidad Nacional del Nordeste, 2000)

## 2.1.2 Métodos de Conversión de la Biomasa en Energía

### Métodos Termoquímicos

Estos métodos se basan en la utilización de calor, como fuente de transformación de la biomasa. Preferentemente orientada a biomasa seca (paja, madera, etc.). En este tipo de métodos se encuentran:

- **Combustión:** Oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera aire y gas carbónico, comúnmente utilizado en calefacción doméstica y producción de calor industrial. (Fast, 1981)

- **Pirolisis:** Combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, realizada a unos 500°C, producto de este proceso se obtiene carbón vegetal, un gas de bajo poder calorífico y aceite.(Fast, 1981)

## **Métodos Biológicos**

En esta Clasificación se puede encontrar:

- **Fermentación Alcohólica:** Técnica empleada en azúcares, celulosa y almidón, que por medio de un proceso de destilación de alto costo, se obtiene de la biomasa etanol. (Fast, 1981)
- **Fermentación Anaeróbica (biogás):** Digestión anaeróbica de la biomasa por bacterias, como resultado se obtiene biogás y un lodo que se puede utilizar como biofertilizante. (Fast, 1981)

## **2.2 Productos de la Fermentación Anaeróbica o Digestión Anaeróbicas**

- **Biogás**

El biogás es una mezcla gaseosa combustible (Ver Tabla 2.2.1) que nace de la digestión anaeróbica (fermentación microbiana) de materia orgánica de origen vegetal y animal (biomasa), que debido a sus características puede ser utilizado para fines energéticos. Con un poder calorífico que va entre los 4500 y 6500 Kcal/m<sup>3</sup> (Plantas de Biogás, s.f), fácilmente puede reemplazar los combustibles tradicionales.

Tabla 2.2.1. Composición del Biogás (Plantas de Biogás, s.f)

| COMPONENTES                           | %        |
|---------------------------------------|----------|
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | 50-70    |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | 30-50    |
| Nitrógeno (N <sub>2</sub> )           | 0-3      |
| Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)  | 0-1      |
| Monóxido de Carbono (CO)              | 0-1.5    |
| Vapor de agua                         | Variable |

- **Biofertilizante**

Otro de los productos obtenidos durante la digestión anaeróbica es el biofertilizante que puede estar en forma líquida llamada también efluente o sólida llamada también lodo, que es un abono orgánico rico en nutrientes capaz de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, sus cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio capaz de aportar al suelo, permiten sustituir parcial o totalmente el uso de abonos químicos. (Plantas de Biogás, s.f)

“Este material digerido no posee mal olor, no atrae moscas y no contamina, ya que durante el proceso de digestión anaeróbica se eliminan en forma drástica los microorganismos patógenos”. (Fuenzalida, 1995)

Tabla 2.2.2. Destrucción de Microorganismos en la Digestión Anaeróbica  
(National academy of sciences, 1977)

| Organismo                  | Temperatura (°C) | Tiempo de Digestión (días) | % de destrucción |
|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Polivirus                  | 35               | 6                          | 98,5             |
| Salmonella spp             | 22-37            | 6-20                       | 82-96            |
| Salmonella typhosa         | 22-37            | 6                          | 99               |
| Mycobacterium tuberculosis | 30               | 15                         | 100              |
| Ascaris                    | 29               | 15                         | 90               |
| Quistes de parásitos       | 30               | 10                         | 100              |

Otra posibilidad del uso del biofertilizante es como complemento alimenticio para animales. (Fuenzalida, 1995)

### 2.3 La Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico. El porcentaje de metano en el biogás y la producción de biogás varía, según el tipo de materia orgánica digerida.

Tabla 2.3.1. Rendimientos de biogás, según tipo de estiércol (Biava, 1988)

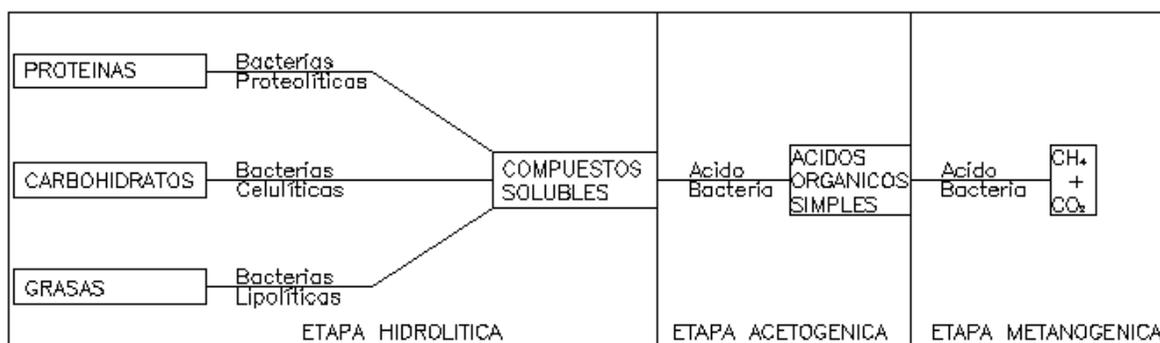
| Residuos             | Biogás                     |                            |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|
|                      | m <sup>3</sup> /animal/día | M <sup>3</sup> /animal/año |
| <b>Animales</b>      |                            |                            |
| <b>Estiércol de:</b> |                            |                            |
| Vacuno               | 0,592                      | 216,08                     |
| Equino               | 0,683                      | 249,66                     |
| Porcino              | 0,138                      | 50,37                      |
| Ovinos               | 0,09                       | 32,85                      |
| Caprinos             | 0,09                       | 32,85                      |
| Aves                 | 0,0049                     | 1,752                      |

Para que el proceso tenga lugar es necesaria la intervención de distintos grupos de microorganismos capaces de transformar la materia orgánica en compuestos intermedios, principalmente ácido acético, anhídrido carbónico e hidrógeno, utilizables por los microorganismos metanógenos que concluyen el proceso produciendo el metano. (Selco MC, 2003)

El proceso de digestión se divide en tres etapas involucrando en cada una, un grupo específico de microorganismos (National academy of sciences, 1977), estas son:

1. Etapa hidrolítica.
2. Etapa productora de ácidos o acetogénica.
3. Etapa metanogénica.

Figura 2.3.2. Etapas de la Digestión Anaeróbica (Biava, 1988)



- **Etapa Hidrolítica**

En esta etapa un gran número de microorganismos anaeróbicos facultativos, principalmente bacterias celulolíticas, actúan sobre substratos orgánicos. Por hidrólisis, las proteínas complejas son desdobladas a moléculas de peso molecular más bajo, como lo son la glucosa, aminoácidos y glicerol. Luego estos presentan un proceso de fermentación ácida que originan acetato, propionato, butirato, etanol, y en menor cantidad, hidrogeno. Esta etapa es la más limitante del proceso debido a la lenta hidrólisis de la celulosa. (National academy of sciences, 1977)

- **Etapa Acetogénica**

En la segunda etapa de la digestión anaeróbica, una serie de microorganismos anaeróbicos (Bacterias Acetogénicas), que utilizan como substrato el ácido propiónico y otros ácidos grasos de la cadena larga,

alcoholes y probablemente algunos ácidos aromáticos, provenientes de la primera etapa. Dichos substratos son sometidos a un proceso de fermentación que los convierte por óxido-reducción en ácidos orgánicos simples de cadena corta, como propiónico, butírico, fórmico, láctico y principalmente ácido acético, desprendiéndose hidrógeno y dióxido de carbono.(Biava, 1988)

- **Etapas Metanogénicas**

En ella los ácidos orgánicos simples devienen en substratos para la descomposición, estabilización y producción de metano, mediante la acción de bacterias metanogénicas estrictamente anaeróbicas, las cuales producen metano por dos vías:

1. Fermentación de ácido acético a metano y dióxido de carbono.



2. Reducción de dióxido de carbono a metano, utilizando gas hidrógeno o formiato producido por otras bacterias.



El substrato de mayor importancia en esta etapa es el ácido acético, producido en la etapa anterior, a partir de cuya descarboxilación se genera alrededor del 70% del total del metano producido. (National academy of sciences, 1977)

## 2.4 Variables en la Producción de Biogás

### Temperatura

La temperatura en que se realiza el proceso de digestión anaeróbica varía entre los 15 y 60°C. Los microorganismos matanogénicos son muy sensibles a los cambios de temperatura, un cambio brusco de temperatura sobre 3°C puede afectar gravemente la producción de biogás. (Fuenzalida, 1995)

Para el desarrollo óptimo del proceso se distinguen tres rangos: Psicrófilo, Mesófilo y Termófilo. (Flors, 1981)

- Psicrófilo: Se desarrolla bajo los 20°C, la producción de biogás en este rango es baja, siendo casi cero al llegar a los 10°C. (RILLING, 1985)
- Mesófilo: Se desarrolla entre los 25 y 40°C, las bacterias desarrolladas en este rango, son de rápida reproducción y la mayoría de los desechos orgánicos se pueden digerir en este rango para la producción de biogás. La temperatura óptima para este rango es de 35°C. (Fuenzalida, 1995)
- Termófilo: Se desarrolla entre los 50 y 60°C, este es el rango de mayor producción de biogás y en el menor tiempo, pero debido a la alta sensibilidad de las bacterias termofílicas, este rango es usado solo en instalaciones a nivel industrial. (Fuenzalida, 1995)

### Acidez

Determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado un valor óptimo de pH entre 6,6 y 7,6. Fuera de estos rangos la producción de metano puede incluso detenerse (Biava, 1988)

## **Contenido en sólidos**

Se suele operar en mejores condiciones con menos de 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido de humedad. (Universidad nacional del nordeste, 2000)

## **Nutrientes**

Para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas deben disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. (Universidad nacional del nordeste, 2000)

## **Tóxicos**

Aparte del oxígeno, inhiben la digestión anaeróbica concentraciones elevadas de amoníaco y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas. (Universidad nacional del nordeste, 2000)

## **Relación Carbono/Nitrógeno**

Para lograr una máxima producción de biogás, se requiere una proporción adecuada de micro y macronutrientes.

El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno forma las nuevas cadenas de las bacterias metanogénicas. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima es del orden de 30:1. (Biava, 1988)

Si hay exceso de nitrógeno, se produce amoníaco en grandes cantidades el cual es un inhibidor, si por el contrario existe poco nitrógeno las bacterias no se multiplican y por lo tanto se limitara la producción de biogás. (Currie, 1991)

## **Agitación**

Con el objeto de distribuir de mejor forma los microorganismos, es esencial una agitación de forma periódica de la biomasa en digestión. (Fuenzalida, 1995)

Se distinguen 3 tipos básicos de agitación:

- Mecánica: A través de agitadores.
- Hidráulica: A través de bombas se hacen recircular la biomasa.
- Burbujeo de Biogás: Se recircula el biogás producido al fondo del biodigestor por medio de cañerías, para producir burbujas.

### **2.5 Características del Biogás**

El biogás es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de alrededor de 700°C. La temperatura de la llama alcanza los 870°C. En cuanto a su poder calorífico, este aumenta proporcionalmente con el porcentaje de metano presente, que a la vez aumenta con el tiempo de retención en los biodigestores. Para lapsos de retención cortos el contenido de metano se reduce hasta en un 50%. Con un contenido de metano menor a un 50%, el biogás deja de ser inflamable. (United nations environment programme, 1991)

### **2.6 Situación del Biogás en Chile**

En Chile el 0,19% de la energía que se consume proviene del biogás, por lo que el biogás constituye una importante fuente futura de energía para el país. El mayor porcentaje del biogás producido en Chile se obtiene de desechos de vertederos, sin embargo este potencial no es aprovechado, debido a que en los vertederos se emplean sistemas de eliminación de biogás, como lo son las chimeneas. (Comisión Nacional de Energía, 2003)

### **3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO**

La aplicación de una Planta de Biogás puede significar múltiples ventajas, que pueden resumirse en tres aspectos:

#### **3.1 Beneficios de tipo Ambiental**

- Brinda una efectiva solución a la disposición final de residuos.(Instituto ingefor, 2004)
- Al utilizarse el metano liberado por residuos biológicos, se ayuda a evitar el efecto invernadero.(Gribbin, 1991)
- Disminución casi total de la emanación de malos olores, producto de la descomposición. (Planta de biogás, s.f)

#### **3.2 Beneficios de tipo Socio-Económicos**

- Se logra reducir los costos de energía eléctrica. (United nations enviroment programme, 1891)
- Brinda autonomía energética, y posibilita el abastecimiento de energía eléctrica a lugares de carecen de este servicio. (United nations enviroment programme, 1891)
- Los residuos de la digestión anaeróbica son utilizados como biofertilizantes disminuyendo los gastos en este tipo de insumos.

#### **3.3 Beneficios de tipo Tecnológicos**

- Gran parte de los equipos pueden ser fabricados localmente. (Universidad nacional del nordeste, 2000)
- Amplia gama de capacidades, tecnologías y condiciones para su uso.
- Presenta una posibilidad, para que este tema comience a ser más conocido en nuestra región.

#### **4. DEFINICION DEL PROBLEMA**

- Desaprovechamiento de una energía limpia y renovable como lo son los desechos orgánicos.
- Contaminación a diversos niveles, por la acumulación y degradación de purines.
- Efectos comerciales negativos del uso de purines como fertilizante, debido a que contiene microorganismos patógenos.

## **5. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **5.1 Objetivo general**

Diseñar y seleccionar elementos de una planta de biogás capaz de recepcionar los purines de un plantel de 100 vacas lecheras.

### **5.2 Objetivos Específicos**

- 1) Caracterización del estiércol, en cuanto a composición y cantidad.
- 2) Aplicar en el diseño de la planta el sistema de proceso continuo de biogás.
- 3) Seleccionar elementos básicos para el funcionamiento de la planta.
- 4) Realizar un diseño de alta calidad y tecnología actualizada.

### **5.3 Metodología de Trabajo**

- 1) Revisión bibliográfica para obtener la caracterización del estiércol.
- 2) Revisión bibliográfica sobre la utilización de la tecnología de biogás tanto a nivel nacional como internacional, sobre plantas de biogás de proceso continuo.
- 3) Estudio de los procesos microbiológicos involucrados en dicha tecnología.
- 4) Identificar las variables a controlar en el proceso de producción de biogás.
- 5) Diseño de una planta de biogás de proceso continuo, mediante la aplicación de las técnicas de diseño por analogía e inventiva.
- 6) Finalmente, se estudiará la forma para que el diseño de la planta sea de fácil operación.

## CAPITULO 6

### SELECCIÓN DEL DIGESTOR

#### **Planta de Biogás**

Una planta de biogás está compuesta principalmente por: un biodigestor (Digestión anaeróbica) y una unidad de almacenamiento del gas. (Plantas de Biogás, s.f)

#### **Biodigestor**

“Tanque hermético donde se produce la digestión anaeróbica, debe ser hermético y proteger la materia tratada del frío y el calor”. (Bravo, 1992).

“El digestor es el componente del sistema de biogás que optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada”. (UPME, 2003)

#### **6.1 Tipo de Biodigestores**

##### **Según Método de Carga**

Los Biodigestores se pueden clasificar, de acuerdo al método de carga en dos tipos:

- Discontinuas o de Batch
- Continuas

### **Biodigestor Tipo Batch**

Este tipo de biodigestor es cargado con material en un solo lote, por lo que también se llama comúnmente a este tipo de biodigestor como tipo Lote. Cuando la producción de gas decae bajo un cierto nivel después de un periodo de fermentación, este es vaciado por completo para volver a ser cargado con material fresco.

### **Biodigestor Tipo Continuo**

En este tipo de biodigestor, se agrega material continuamente y el efluente se descarga en la misma cantidad en que se ingresa material. El proceso se caracteriza por una fermentación constante, una producción uniforme de gas, facilidad y control, se aplica en zonas en donde el material residual es abundante. (Cofre, 2001)

### **Según Método de Construcción (UPME, 2003)**

#### **Biodigestor de Estructura Sólida Fija**

Consiste en una cámara de gas comúnmente construida de ladrillos, piedra o concreto el cual es fijo, la estructura interna está constituida por capas para aislar la cámara. El gas producido durante el proceso de fermentación es almacenado bajo el domo por lo que se generan grandes fuerzas estructurales, es por este motivo que su diseño es generalmente semiesférico con el fin de evitar concentración de tensiones.

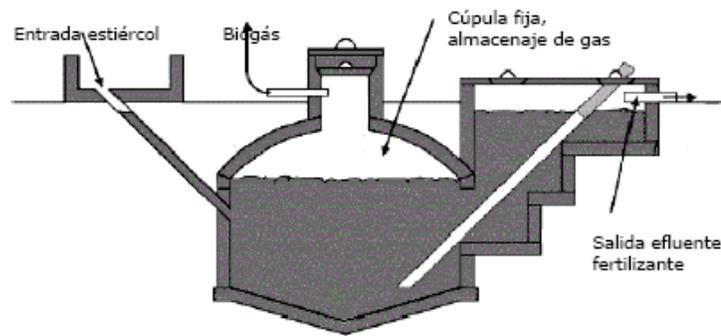


Fig.6.1 N°1 Biodigestor de Estructura Sólida Fija (UPME, 1986)

### Biodigestor de Estructura Sólida Móvil

La principal característica de este biodigestor es la campana flotante en donde acumula el gas producido, esta campana otorga gas a presión constante y es preferentemente construida de láminas de acero.

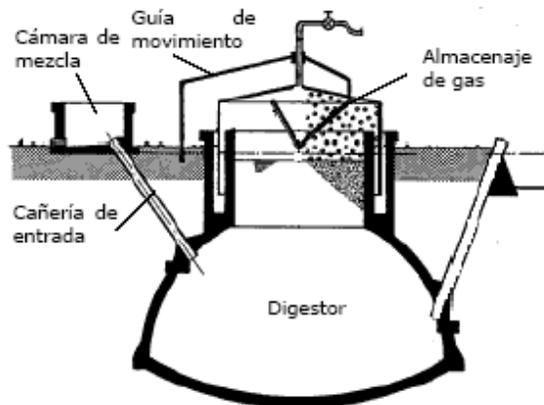


Fig. 6.1 N°2 Estructura Sólida Móvil  
Diseño Semiesférico (INTA, s,f)

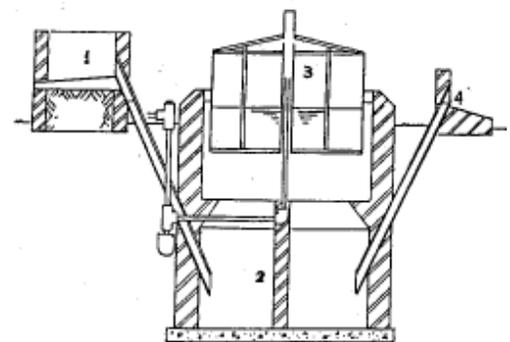


Fig. 6.1 N°3 Estructura Sólida Móvil  
Diseño Cilindro Vertical (INTA, s,f)

## Biodigestor de Balón de Plástico

Este tipo biodigestor consta de una bolsa situada en la parte superior del digestor y es en donde se almacena el gas. La presión del gas se logra básicamente por la elasticidad del globo o adicionando pesos sobre el globo.

El material para del globo debe ser elegido con mucho cuidado ya que debe ser resistente a los rayos ultravioletas y a la intemperie. Este tipo de biodigestor es bastante común en zonas donde predominan las altas temperaturas, debido a su bajo costo de construcción. (COFRE, 2001)

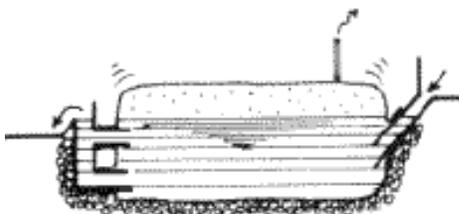


Fig. 6.1 N°4 Biodigestor de Balón (INTA, s,f)

## 6.2 Características de los Biodigestores

Tabla 6.2.1. (GTZ, 1987)

| Características     | De estructura sólida fija  | De estructura sólida móvil  | De balón de plástico  |
|---------------------|--|---|---|
| Cámara de digestión | Esférica / bajo tierra   | Esférica/Semiesférica   | Semiesférica  |
| Nivel de tecnología | Madura   | Madura  | Madura  |
| Presión del gas     | No constante   | Constante   | Muy baja presión de gas, es necesario aumentar la presión con sobrepeso   |
| Localización óptima | Todos los climas   | Todos los climas  | Todos los climas  |
| Vida útil           | 20 años  | 20 años   | 5 años  |
| Ventajas*           | Bajos costos de construcción.<br>No posee partes móviles<br>No posee partes metálicas que puedan oxidarse<br>No tiene partes expuestas, por eso está protegido contra bajas temperaturas | Manejo fácil<br>El gas almacenado es visible a través del nivel de la campana   | Bajos costos de construcción<br>Fácil transporte e instalación<br>Construcción horizontal y plana que favorece en los lugares con alto nivel freático |
| Desventajas*        | La presión puede ser muy alta, por eso la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada; porosidades y grietas pueden afectar la planta.   | Alto costo de construcción de la campana<br>En la mayoría de los casos, la campana es metálica y por eso sujeta a corrosión.<br>Más costos de mantenimiento causado por trabajo de pintura. | El material plástico está sujeto a daños y tiene que ser protegido.   |

### 6.3 Biodigestores de Segunda Generación

Diseños que han buscado algún medio para retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes de digestor para tratar la misma cantidad de biomasa.

En esta clasificación se encuentran:

- a) Digestor de contacto anaeróbico
- b) Digestor UASB
- c) Digestor o filtro RALF

#### a) Digestor de contacto anaeróbico

En estos digestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga como inoculo.

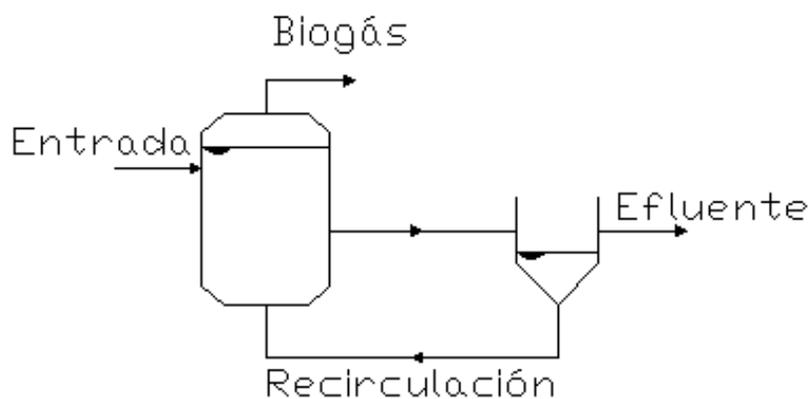


Fig. 6.3 N°1 (INTA, s,f)

## B) Digestor UASB

El digestor de flujo ascendente con manto de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), se caracteriza por retener biomasa sin un medio de soporte, gracias a la formación de gránulos y su sedimentación, por lo que se debe mantener la recirculación al mínimo.

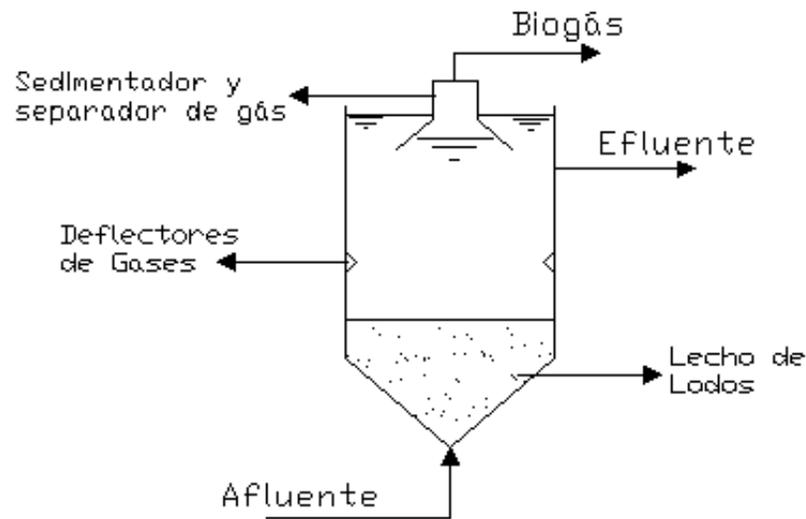


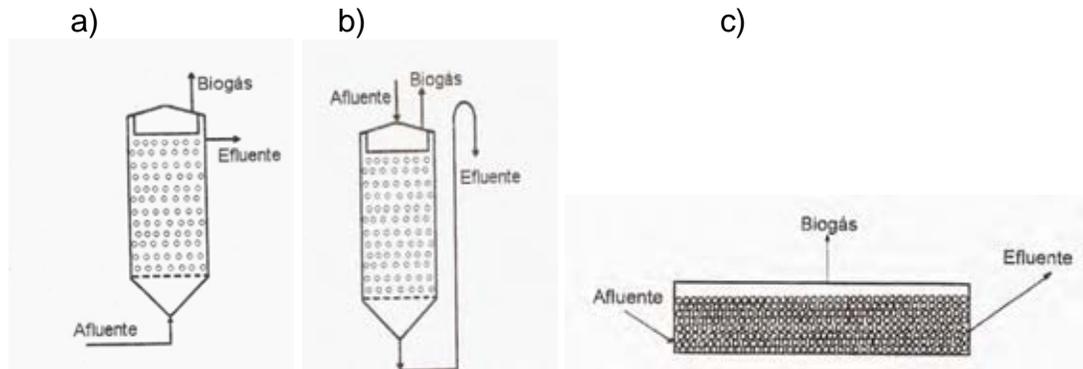
Fig. 6.3 N°2 (Montalbo, 2003)

## C) Filtro RALF (Montalbo, 2003)

Este filtro consiste en pasar la carga antes del biodigestor a través de un lecho de materiales inertes, también conocidos como material de soporte (piedra, medio plástico, cerámica, etc.), promoviendo el crecimiento de microorganismos productores de biogás:

- Como un biopelícula adherida al material de soporte.
- Como biomasa dispersa atrapada en los intersticios del material de soporte.
- Como flóculos o gránulos retenidos en el fondo falso del filtro.

De acuerdo al tipo de alimentación, los RALF pueden ser de flujo, ver Fig. 6.3 N°3: a) ascendente, b) descendente o c) longitudinal.



Estos filtros proporcionan los siguientes beneficios:

- Capacidad de trabajo eficiente a altas cargas orgánicas.
- Elevada capacidad para aceptar cambios repentinos de carga orgánica.
- Puede trabajar de manera eficiente a pH relativamente bajo y en presencia de sustancias tóxicas.

Con esta etapa primera etapa de filtro anaeróbico nos aseguramos que todo el lodo de descarga en la segunda etapa (digestor) va a estar en algún grado digerido.

#### 6.4 Selección del tipo de Biodigestor para la planta de biogás

Como se ha visto anteriormente, existe una muy variada gama de diseños de biodigestores, se ha decidido optar por una estructura sólida fija, de forma cilíndrica y vertical, con una etapa de preparación de la mezcla con filtro RALF, de flujo descendente, ambos semi enterrados.

- Se selecciona diseño de estructura cilíndrica fija, por las siguientes ventajas:
  - a) buena resistencia a las presiones. Con una carga axial simétrica, la mayor parte de digestor se encuentra expuesto a compresión, por lo que pueden utilizarse materiales sin una alta resistencia a la tensión cortante, como en este caso hormigón armado.
  - b) En comparación al modelo de digestor con campana móvil, el fijo no posee partes móviles por lo que demanda menores gastos de mantención.
  - c) Menor complejidad constructiva que el modelo semi esférico.
  
- En cuanto a la posición respecto a la superficie terrestre se construirá semienterrado, debido a las siguientes razones:
  - a) La presión lateral del suelo fuera del digestor es favorable a las fuerzas que actúan dentro, con lo que se puede reducir el espesor de la pared.
  - b) En cuanto a la temperatura y la humedad son muchos más estables bajo tierra que en la superficie, con lo que se evitan las tensiones internas a causa de las diferencias de temperatura. Lo que reduce las posibilidades de fisuras por fatiga de material.
  - c) Se puede aprovechar el mismo suelo como superficie de moldaje, para la construcción de las paredes del digestor.

## 6.5 Esquema Simplificado de la Instalación

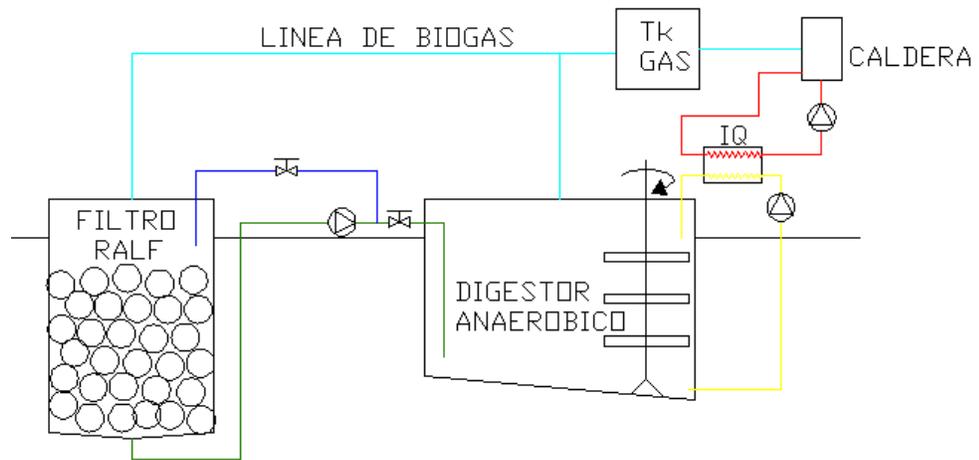


FIG. 6.5 N°1 Diagrama Simplificado de la Instalación

## CAPITULO 7

### CARACTERIZACION DEL ESTIERCOL Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR

#### 7.1 CARACTERIZACION Y CUANTIFICACION DEL ESTIERCOL

La mayor parte de los digestores utilizan como material de fermentación el estiércol, y especialmente el de vacuno ya que contiene una gran cantidad de bacterias metanogénicas, siendo un material muy apropiado para la digestión anaeróbica.

La cantidad y características de estas excretas dependen:

- La cantidad de forraje ingerido y la digestibilidad, por ejemplo los vacunos excretan casi un tercio de las fibras de forraje.
- La calidad del forraje y el peso medio de los animales.

Una vaca lechera de buen nivel productivo entre 28 - 30 L/día, genera unos 40-60 kilos/día de estiércol (Biava, 1988).

Sin embargo es difícil dar valores medios de la producción de excretas, la forma más precisa es calcularla en base a la masa de los animales, según lo anterior la tabla siguiente muestra la forma de obtener la cantidad de estiércol, además contiene los porcentajes de Sólidos Totales (%ST) y Sólidos Volátiles (%SV):

Tabla 7.1. Valores y Características del estiércol (GTZ, 1987)

| Clase de animal    | % por peso vivo: |            | % del material de digestión |                        | Relación C/N | P - Producción de biogas<br>(m <sup>3</sup> de gas / 1 kg SO) |
|--------------------|------------------|------------|-----------------------------|------------------------|--------------|---|
|                    | PE - Estiércol   | PO - Orina | % EST Sólidos               | % SO Sólidos orgánicos |              |   |
| Vacunos            | 5                | 4          | 15-16                       | 13                     | 20           | 0.250   |
| Cerdos             | 2                | 3          | 16                          | 12                     | 13           | 0.350   |
| Caprinos, ovejas   | 3                | 1.5        | 30                          | 20                     | 30           | 0.200   |
| Caballos           | 5                | 4          | 25                          | 15                     | 20           | 0.250   |
| Avícolas, gallinas | 4.5              | 4.5        | 25                          | 17                     | 5-8          | 0.400   |
| Humanos            | 1                | 2          | 20                          | 15                     | 8            | 0.300   |

## 7.2 Calculo del Volumen Del Biodigestor

### 1) Calculo de la cantidad de estiércol

$$E = NA \times PVP \times \frac{PE}{100}$$

Donde,

E =Estiércol en kilogramos por día

NA =Número de animales por una especie (100 Vacas)

PVP = Peso vivo promedio por animal (BRAVO, 1992)

PVP = **1250 lb. (Vaca Lechera, Holstein) = 567 kg.**

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

PE = 5% (Tabla, N°6.1)

$$E = 100 \times 567 \text{ kg} \times 0.05$$

$$E = 2835 \text{ kg/día}$$

## 2) Cálculo de la cantidad de orina

$$O = NA \times PVP \times \frac{PO}{100}$$

Donde,

O = Orín día en kilogramos (se asume que 1 litro de orín pesa 1 kilogramo)

NA = 100 Vacas

PVP = 567 Kg

PO = Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo (se asume que 1 litro de orín pesa 1 kilogramo).

PO = 4%

$$O = 100 \times 567 \times 0,04$$

$$O = 2268 \text{ kg/día}$$

## 3) Materia prima para cargar

$$MPC = E + O$$

Donde,

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

E = Estiércol en kilogramos por día

O = Orín en kilogramos por día.

$$MPC = 2835 \text{ kg/día} + 2268 \text{ kg/día}$$

$$MPC = 5103 \text{ kg/día}$$

#### 4) Porcentaje de sólidos totales (%ST)

$$\%ST = \frac{E * \%EST}{MPC}$$

Donde,

%ST = Porcentaje de sólidos totales contenidos en la materia prima para carga

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

%EST = Porcentaje de sólidos en el estiércol.

%EST = 16 % (Tabla N°7.1)

E = Estiércol en kilogramos por día.

$$\%ST = (2835 \text{ kg/día} \times 16) / 5103$$

$$\%ST = 8,9$$

Podemos ver que no es necesario agregar agua a la mezcla debido a que el porcentaje de sólidos totales es menor al 10%, valor acordado anteriormente.

#### 5) Sólidos totales (ST)

$$ST = \frac{\%ST \times MPC}{100}$$

Donde,

ST = Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día.

%ST = Porcentaje de sólidos en la carga o materia prima.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

$$ST = (8,9 \times 5103 \text{ kg/día}) / 100$$

$$ST = 454 \text{ kg/día}$$

## 6) Masa de agua para la mezcla

En este caso no es necesario agregar agua ya que el %ST es menor al 10%

$$MH_2O = \frac{MPC \times ST}{10} - MPC$$

Donde,

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

ST = Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga, en Kilogramos por día.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

$$MH_2O = 0 \text{ kg/día}$$

## 7) Carga

$$C = MPC + MH_2O$$

Donde,

C = carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por día o litros por día (Sea asume que un litro pesa un kilogramo).

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

$$C = 5103 \text{ kg/día} + 0 \text{ kg/día}$$

$$C = 5103 \text{ kg/día}$$

## 8) Calculo del tiempo de retención

$$TR = (-51.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206.72)$$

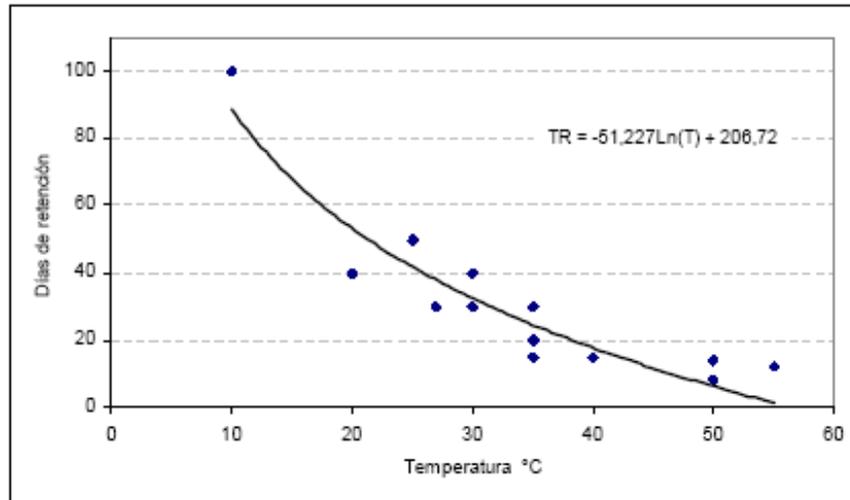


Fig. 7.8 N°1 (UPME, 2003)

Donde,

TR= Tiempo de retención en días

Ln= Logaritmo natural

T°C= Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el Biodigestor

T°C = 35°C, Valor dado por el diseñador (Rango Mesofilico)

$$TR = -51,227 \times \ln(35^{\circ}C) + 206,72$$

$$TR = 25 \text{ días}$$

### 9) Volumen del Biodigestor

$$Vd = C * TR * 1,2$$

Donde,

Vd = Volumen del digestor, en litros

C = Carga diaria para alimentar el digestor en litros por día

TR = Tiempo de retención en días.

1,2 = Volumen adicional para el almacenamiento del biogás

$$Vd = 5103 \times 25 \times 1,2$$

$$Vd = 153090 \text{ L}$$

$$Vd = 154 \text{ m}^3$$

### 10) Calculo posible producción de gas

$$PG = MPC \times SO \times P$$

Donde,

PG = Gas producido en litros por día

MPC = Estiércol en kilogramos por día

SO = Porcentaje de materia orgánica del estiércol según la especie.

P = Producción aproximada de m<sup>3</sup> de gas/1 kg de masa orgánica seca total

$$PG = 5103 \times 0,13 \times 0,25$$

$$PG = 165,84 \text{ m}^3/\text{día}$$

## CAPITULO 8

## CALCULO ENERGETICO DIGESTOR E INTERCAMBIADOR

## 8.1 CALCULO ENERGETICO DIGESTOR (QASIM, 1985)

Los cálculos realizados para obtener los valores fueron los siguientes:

Dimensiones de Estanque

Cilindro de Diámetro 8 metros y Altura 3,1 metros

Construido de Hormigón Armado 20 cm. De espesor

Enterrado completamente en la tierra.

$T_2$ = temperatura del interior 35°C (95°F)

$T_1$ = temperatura exterior

| OVERALL HEAT TRANSFER<br>COEFFICIENTS FOR ANAEROBIC<br>DIGESTERS |   |
|--|---|
| Digester<br>Type   | Overall Coefficient of<br>Heat Transfer<br>(Btu/hr/ft <sup>2</sup> /°F) |
| Concrete roof  | 0.5   |
| Floating cover   | 0.24  |
| Concrete wall air space  | 0.35  |
| Concrete wall in wet earth                                       | 0.25  |
| Concrete wall in dry earth                                       | 0.18  |
| Floor  | 0.12  |

TABLA 8.1 (QASIM, 1985)

Las Perdidas del Digestor (estanque)

$$Q = U \times A (T_2 - T_1)$$

$T_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (41°F), Dato sin información exacta, se tienen las temperaturas tomadas por la universidad austral, a diferentes profundidades siendo la más profunda 10 cm. Con una mínima media histórica en el mes de Julio de 7,9 °C (Anexo 4).

Perdidas por las paredes:

$$Q_1 = U_{\text{pared}} \times (A_{\text{pared}}) \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = 0.25 \times 838,63 \times (54)$$

$$\mathbf{Q_1 = 11321,5 \text{ Btu/h.}}$$

Perdidas por el Suelo

$$Q_2 = U_{\text{pared}} \times (A_{\text{pared}}) \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = 0.12 \times 541 \times (54)$$

$$\mathbf{Q_2 = 3505,68 \text{ Btu/h.}}$$

Perdidas por el techo

$$T_1 = 0^\circ\text{C} (32^\circ\text{F})$$

$$Q_3 = U_{\text{pared}} \times (A_{\text{pared}}) \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_3 = 0,5 \times 541 \times (63)$$

$$\mathbf{Q_3 = 17041,5 \text{ Btu/h.}}$$

### **CALOR REQUERIDO PARA MANTENER LOS 35°C EN EL INTERIOR**

$$Q_4 = W \times C \times (T_2 - T_1)$$

Donde.

W = Lodo Adicionado Diariamente, 5103 kg. (11250 lb)

C = Calor Especifico del Estiércol 1,0 Btu/lbm-°F

T<sub>2</sub> = Temperatura interior, 35°C (95°F)

T<sub>1</sub> = Temperatura del estiércol, 5°C (41°F)

$$\mathbf{Q_4 = 607500 \text{ Btu/h.}}$$

### **POTENCIA CALORIFICA TOTAL REQUERIDA Q<sub>T</sub>**

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_T = 11321,5 + 3505,68 + 17041,5 + 607500 \text{ [BTU/h]}$$

$$Q_T = 639369,7 \text{ BTU/h}$$

$$Q_T = 187,27 \text{ kW}$$

## 8.2 CALCULO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO CORAZA Y TUBOS (INCROPERA, 1999)

1) Balance global de energía, la transferencia de calor que se requiere en el intercambiador es:

$$Cp_{\text{lodo}} = 4.678,6 \frac{J}{kg K}$$

$$\dot{m} = 4,16 \text{ Kg/s (por diseño)} \quad q = \dot{m} \times Cp (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

$$T_{\text{salida}} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{entrada}} = 5^{\circ}\text{C}$$

$$q = 4,16 \frac{kg}{s} \times 4.678,6 \frac{J}{kg K} \times (35-5)K$$

$$q = 5,839 \times 10^5 \text{ W}$$

2) Cantidad de agua requerida para transferir el calor al lodo:

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = \frac{q}{Cp \times (T_2 - T_1)}$$

Donde,

$$Cp_{\text{Agua}} = 4181 \frac{J}{kg K}$$

$$T_2 = 80^{\circ}\text{C (Temperatura entrada agua, dato por diseño)}$$

$$T_1 = 55^{\circ}\text{C (Temperatura salida agua, dato por diseño)}$$

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = \frac{5,839 \times 10^5 \text{ W}}{4181 \frac{J}{kg K} \times (80-55)K}$$

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = 3,99 \frac{kg}{s}$$

### 3) Flujo de lodo por tubo:

Para 10 tubos, N= 10 (Por diseño),

$$\dot{m} = \frac{4,16 \text{ Kg/s}}{N}$$

$$\dot{m} = 0,416 \text{ Kg/s}$$

### 4) Reynold, al interior de los tubos:

Se sabe que para un flujo incompresible estable que recorre una sección transversal uniforme,

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}}{D \times \pi \times \mu}$$

Donde,

D = 0,03 m (diámetro interior del tubo, selección tubo 1 pulg, norma ASTM A-106 Gr. B)

$\mu = 1005 \times 10^5 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \times \text{s}}$  (viscosidad a 20°C)

$$Re = \frac{4 \times 0,416 \text{ Kg/s}}{0,03 \text{ m} \times \pi \times 1005 \times 10^5}$$

$$Re = 17.567,75 \text{ (régimen turbulento)}$$

### 5) Calculo número Nusselt (Nu)

Se sabe que para un flujo turbulento completamente desarrollado en un tubo circular suave, se tiene la ecuación de Colburn, que dice:

$$Nu = 0,023 Re^{4/5} \times Pr^{0,4}$$

Donde,

Pr = 7,85 (T<sub>agua</sub>=20°C)

$$Nu = 0,023 (17.567,75)^{4/5} \times (7,85)^{0,4}$$

$$Nu = 130,44$$

### 6) Cálculo coeficientes convectivos "h":

-Al exterior de los tubos "h<sub>0</sub>", se sabe (INCROPERA, 1999):

$$\bar{h}_0 = 4620 \frac{W}{m^2 \times K}$$

-Al interior de los tubos "h<sub>i</sub>"

Sea k, Conductividad térmica

$$k(20^\circ C) = 0,6 \frac{W}{m \times K}$$

$$h_i = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_i = \frac{0,6 \frac{W}{m \times K}}{0,02 m} \times 130,44$$

$$h_i = 2608,8 \frac{W}{m^2 \times K}$$

### 7) Cálculo coeficiente global de transferencia de calor (U)

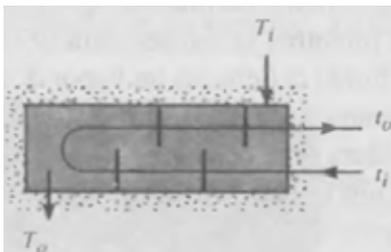
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_0}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2608,8 \frac{W}{m^2 \times K}} + \frac{1}{4620 \frac{W}{m^2 \times K}}}$$

$$U = \frac{1}{3,83 \times 10^{-4} \frac{m^2 \times K}{W} + 2,16 \times 10^{-4} \frac{m^2 \times K}{W}}$$

$$U = 1669,45 \frac{W}{m^2 \times K}$$

### 8) Calcular el factor "F" de corrección



Sea,

$T_i = 80^\circ\text{C}$ , Temperatura entrada de agua a la carcaza

$T_o = 55^\circ\text{C}$ , Temperatura salida de agua de la carcaza

$t_i = 5^\circ\text{C}$ , Temperatura entrada de lodo a los tubos

$t_o = 35^\circ\text{C}$ , Temperatura salida de lodo de los tubos

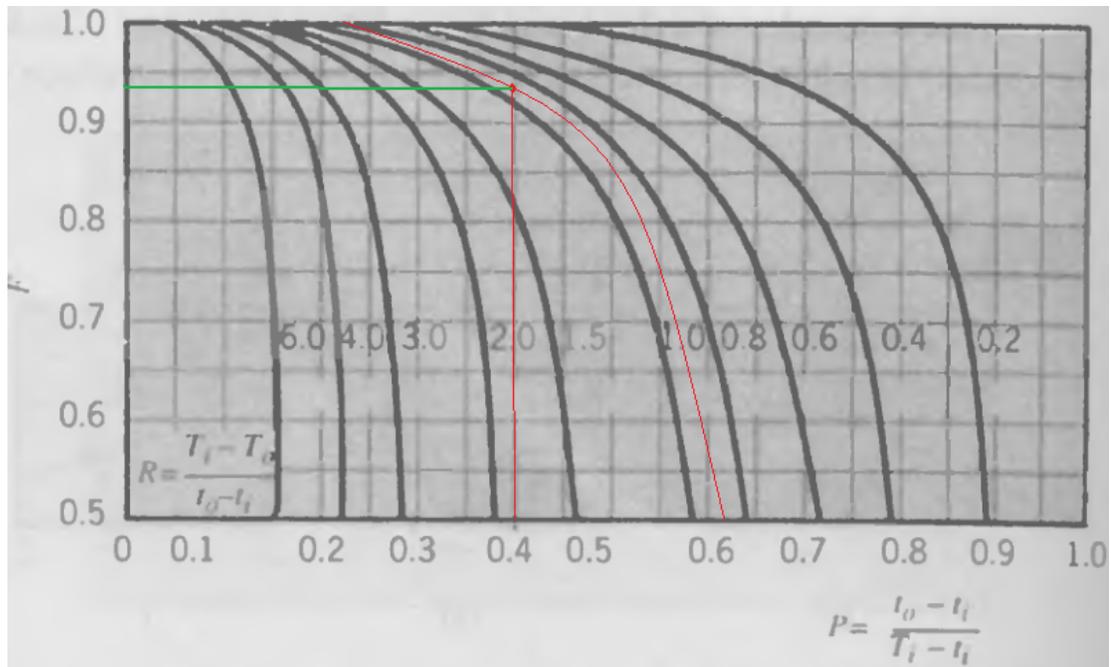


Fig. 8.2 N°1 (INCROPERA, 1999)

Sea,

$$R = \frac{80-55}{35-5} = 0,83$$

$$P = \frac{35-5}{80-5} = 0,4$$

Por lo anterior  $F \approx 0,94$

### 9) Calculo de la diferencia media de temperatura logarítmica ( $\Delta T_{ml}$ )

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_0) - (T_2 - t_1)}{\ln \left[ \frac{(T_1 - t_0)}{(T_2 - t_1)} \right]}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(80 - 35) - (55 - 5)}{\ln \left[ \frac{(80 - 35)}{(55 - 5)} \right]} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \Delta T_{ml} = \frac{45 - 50}{\ln \left[ \frac{(45)}{(50)} \right]} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \Delta T_{ml} = 47,46^\circ\text{C}$$

### 10) Calculo del largo de los tubos del intercambiador (L)

Como,

$$q = U \times A \times F \times \Delta T_{ml} \quad (1)$$

Además, se sabe:

$$A = N \times \pi \times D \times L \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1), queda:

$$q = U \times N \times \pi \times D \times L \times F \times \Delta T_{ml}$$

Despejando "L":

$$L = \frac{q}{U \times N \times \pi \times D \times F \times \Delta T_{ml}}$$

$$L = \frac{5,84 \times 10^5 \text{ W}}{1669,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}} \times 10 \times \pi \times 0,03 \text{ m} \times 0,94 \times 47,46^\circ\text{C}}$$

$$L = \frac{5,84 \times 10^5}{70194,19} \text{ [m]}$$

$$L = 8,32 \text{ m}$$

Finalmente, si se consideran 2 pasos de los tubos (M = 2)

$$\text{El largo aproximado sería, } \frac{L}{M} = \frac{8,32}{2} = 4,16$$

## CAPITULO 9

**DETERMINACION DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS  
(DURATEC-VINILIT, s.f)**

**Calculo de las perdidas singulares, en metros equivalentes de tubería**

Se seleccionará, para el diseño de la planta una tubería de PVC de 2in. de diámetro nominal ( $D_n$ ) y clase 10. De lo anterior se puede obtener:

$$D_{int} = D_n - 2 \times e$$

Sea,

$D_{int}$  : Diámetro Interior

e : Espesor de la pared

Tabla 9.1 N°1 (DURATEC-VINILIT, s.f)

| Diám. exterior |                | Clase 4           |                | Clase 6           |                | Clase 10          |                | Clase 15 (*)      |                |
|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| Nominal (mm)   | Nominal (pulg) | Espesor mín. (mm) | Peso tira (kg) |
| 20             | 1/2            | -                 | -              | -                 | -              | -                 | -              | 1,5               | 0,83           |
| 25             | 3/4            | -                 | -              | -                 | -              | 1,5               | 1,05           | 1,9               | 1,28           |
| 32             | 1              | -                 | -              | -                 | -              | 1,8               | 1,59           | 2,4               | 2,06           |
| 40             | 1 1/4          | -                 | -              | 1,8               | 2,02           | 2,0               | 2,20           | 3,0               | 3,16           |
| 50             | 1 1/2          | -                 | -              | 1,8               | 2,54           | 2,4               | 3,32           | 3,7               | 4,87           |
| 63             | 2              | -                 | -              | 1,9               | 3,45           | 3,0               | 5,24           | 4,7               | 7,90           |
| 75             | 2 1/2          | 1,6               | 3,94           | 2,2               | 4,80           | 3,6               | 7,49           | 5,6               | 11,19          |
| 90             | 3              | 1,8               | 4,76           | 2,7               | 6,94           | 4,3               | 10,73          | 6,7               | 16,02          |
| 110            | 4              | 2,2               | 7,13           | 3,2               | 10,10          | 5,3               | 16,10          | 8,2               | 23,99          |
| 125            | 4 1/2          | 2,5               | 9,11           | 3,7               | 13,12          | 6,0               | 20,57          | 9,3               | 30,88          |
| 140            | 5              | 2,8               | 11,33          | 4,1               | 16,37          | 6,7               | 25,78          | 10,4              | 38,66          |
| 160            | 6              | 3,2               | 14,88          | 4,7               | 21,26          | 7,7               | 33,83          | 11,9              | 50,47          |
| 200            | 8              | 4,0               | 22,93          | 5,9               | 33,25          | 9,6               | 52,74          | 14,7              | 78,15          |
| 250            | 10             | 4,9               | 35,14          | 7,3               | 51,66          | 12,0              | 82,41          | 18,6              | 123,78         |
| 315            | 12             | 6,2               | 56,35          | 9,2               | 82,20          | 15,0              | 130,30         | 23,4              | 197,07         |
| 355            | 14             | 7,0               | 71,37          | 10,4              | 104,76         | 17,0              | 166,77         | 26,3              | 250,33         |
| 400            | 16             | 7,9               | 90,88          | 11,7              | 132,79         | 19,1              | 211,97         | 29,7              | 318,87         |

Del cuadro anterior se puede obtener:

$D_n$  : 63 mm

e : 3,0 mm

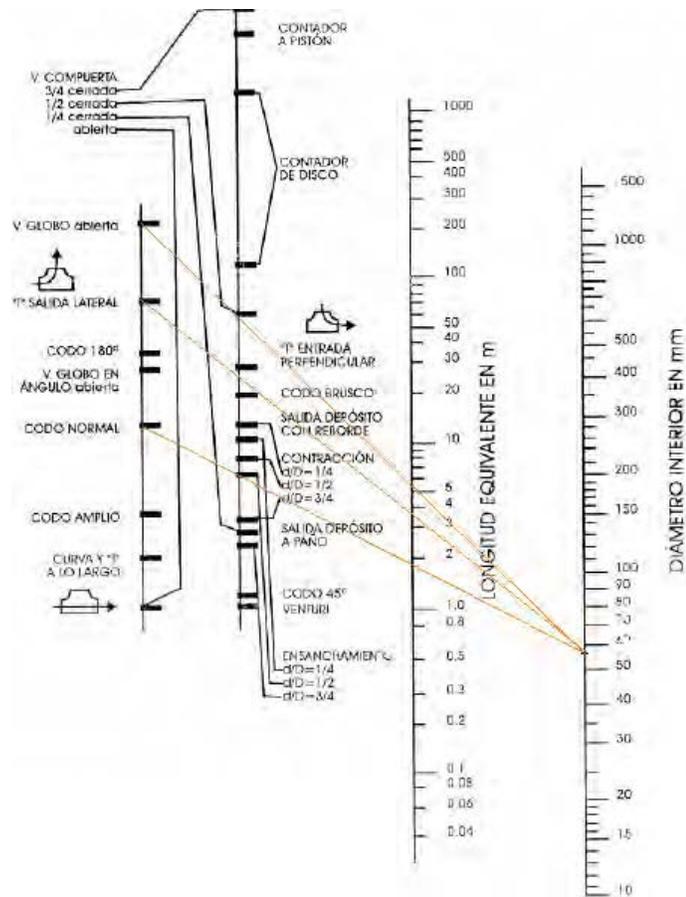
Por lo tanto

$$D_{int} = 63 - 2 \times 3 \text{ [mm]}$$

$$D_{int} = 57 \text{ mm.}$$

De acuerdo al diámetro interior obtenido, se rescatan los metros equivalentes por accesorios del cuadro siguiente:

Tabla 9.1 N°2 (DURATEC-VINILIT, s.f)



Así, la longitud equivalente para:

Codos, será : 1,9 m.

Tee, : 3,5 m.

Válvula de globo, abierta : 5,5 m.

De acuerdo al plano “DIMENSIONAMIENTO DE PIPING”, se analizarán los 4 primeros tramos:

### Tramo 1

Longitud = 9 m

Accesorios:

- 3 Codos
- 1 Válvula de globo

Longitud Total ( $LT_1$ )=  $9 + 3 \times 1,9 + 1 \times 5,5$  [m]  
**= 20,2 m**

### Tramo 2

Longitud = 9,5 m

Accesorios:

- 2 Codos
- 1 Tee
- 1 Válvula de globo

Longitud Total ( $LT_2$ )=  $9,5 + 2 \times 1,9 + 1 \times 3,5 + 1 \times 5,5$  [m]  
**= 22,3 m**

### Tramo 3

Longitud = 10,5 m

Accesorios:

- 2 Codos
- 2 Tee

- 1 Válvula de globo

$$\begin{aligned} \text{Longitud Total (LT}_3\text{)} &= 10,5 + 2 \times 1,9 + 2 \times 3,5 + 1 \times 5,5 \text{ [m]} \\ &= \mathbf{26,8 \text{ m}} \end{aligned}$$

#### Tramo 4

Longitud = 14 m

Accesorios:

- 4 Codos
- 2 Tee
- 1 Válvula de globo

$$\begin{aligned} \text{Longitud Total (LT}_4\text{)} &= 14 + 4 \times 1,9 + 2 \times 3,5 + 1 \times 5,5 \text{ [m]} \\ &= \mathbf{34,1 \text{ m (Tramo Crítico)}} \end{aligned}$$

#### **Calculo perdida por roce en la tubería (J)**

De la ecuación de Hazen & Williams, se obtiene la pérdida por roce de un fluido en una tubería, la anterior se representa:

$$J = 10,665 \times \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D_{int}^{4,869}}$$

Donde,

J: Pérdida de carga en tanto por uno, (m.c.a/m)

Q: Caudal por diseño, 0,0042 m<sup>3</sup>/s (15 m<sup>3</sup>/h).

D<sub>int</sub>: 0,057 m.

C: Coeficiente de rugosidad, C=150 (PVC)

Entonces,

$$J = 10,665 \times \frac{0,0042^{1,852}}{150^{1,852} \times 0,0574,969}$$

$$J = 10,665 \times \frac{3,907 \times 10^{-5}}{10,718,179 \times 8,757 \times 10^{-5}}$$

$$J = 10,665 \times \frac{3,907 \times 10^{-5}}{9,386 \times 10^{-2}}$$

$$J = 0,044 \text{ m.c.a/m}$$

**Calculo perdida de carga total para tramo crítico ( $P_c$ )**

$$P_c = \Delta Z + J \times LT_4$$

Sea,

$\Delta Z$ : Diferencia de altura, 3,5 m (Para el tramo 4)

$$P_c = 3,5 + 0,044 \times 34,1 \text{ [m.c.a.]}$$

$$P_c = 5 \text{ m.c.a}$$

## CAPITULO 10

### SELECCIÓN DE EQUIPOS

#### 10.1 CALDERA Y QUEMADOR

De acuerdo a la potencia calorífica requerida  $Q_T$  es escogido el quemador y la caldera, se selecciona para la aplicación un quemador marca Riello modelo 40GS20, que provee una potencia dentro del rango de 81 a 232 kW.



FIG. 10.1 N°1 Quemador Biogás



FIG. 10.1 N°2 Caldera Agua

En cuanto a la caldera existen dos factores que influyen en la selección:

1. Potencia Calorífica de rango similar al quemador.
2. Hogar con largo mayor que el de la llama del quemador.

Por recomendación del proveedor ANWO S.A se ha seleccionado una caldera marca SIME modelo 2R capaz de entregar una potencia térmica de 200 kW.

## 10.2 AGITADOR

La selección del agitador fue llevada a cabo por la empresa ingeniería Lecaros y Cía Ltda. De acuerdo a las características del digestor.

El digestor sugerido es un agitador marca DHIWOLL, modelo DWD 90 con una potencia de 5,5 Kw.

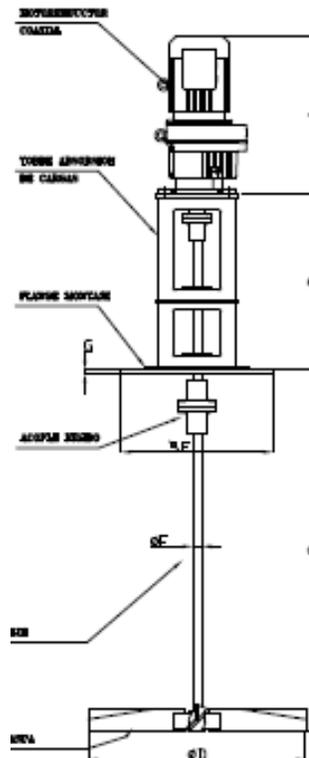


FIG. 10.2 N°1 Agitador Digestor

## 10.3 VALVULAS Y ACTUADORES

### -Válvulas Mariposa

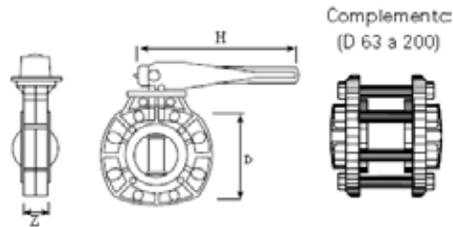


FIG. 10.3 N°1 Válvula 2in. (Duratec-Vinilit, s.f.)

### -Actuador y posicionador eléctrico (Ver Anexo 2)



| Dígito    | Catálogo      | Consumo | Tiempo Trabajo | Torque Nm | Peso Kgs. | Referencia Válvula Bola 3C | Referencia Válvula Mariposa | Montaje |
|-----------|---------------|---------|----------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------------------------|---------|
| 010880-K  | AE1-220VAC    | 0.2A    | 12 seg         | 15        | 1.5       | 1/4" - 1/2"                | -                           | 8       |
| 010886-0  | AE2-220VAC    | 0.35A   | 8.5 seg        | 25        | 1.5       | 3/4" - 1 1/4"              | DN32-40-50-65               | 11      |
| 0108840-7 | AE3-80/240VAC | 0.35A   | 12 seg         | 60        | 1.8       | 1 1/2" - 2"                | DN80-100                    | 17      |
| 0108842-3 | AE3-24VAC     | 1A      | 10 seg         | 60        | 1.8       | 1 1/2" - 2"                | DN80-100                    | 17      |
| 0108845-8 | AE4-220VAC    | 0.30A   | 32 seg         | 170       | 5.2       | 2 1/2" - 3"                | DN125-150                   | 22      |
| 0108850-4 | AE5-220VAC    | 0.30A   | 74 seg         | 350       | 5.2       | 4"                         | DN200                       | 22      |

## 10.4 Bombas Centrifugas

De la ecuación de Bernoulli, se desprende:

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} + \Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2g} + P_c$$

Sea,

H: Presión manométrica necesaria

$\Delta P$ : Diferencia de presión entre la entrada y la salida del tramo  
 $\Delta z$ : Diferencia de altura entre la entrada y la salida del tramo  
 $\Delta V$ : Diferencia de velocidad entre la entrada y la salida, se considera "0" para líquidos incompresibles  
 $P_c$ : Perdida de carga

$\gamma$ : Peso específico, se considera 9806 N/m<sup>3</sup>

Por lo tanto, si se desea 2 bar. Presión de salida en el tramo 4:

$\Delta P$ : 2 bar, por diseño  
 $\Delta z$ : 3 m.c.a, obtenido por plano  
 $P_c$ : 5 m.c.a, (CAPITULO 10)

$$H = \frac{2}{9806} + 0,3 + 0 + 0,5 \text{ [bar]}$$

$$H = 0,8 \text{ bar}$$

Asumiendo, un 20% como factor de seguridad, finalmente se tendrá:

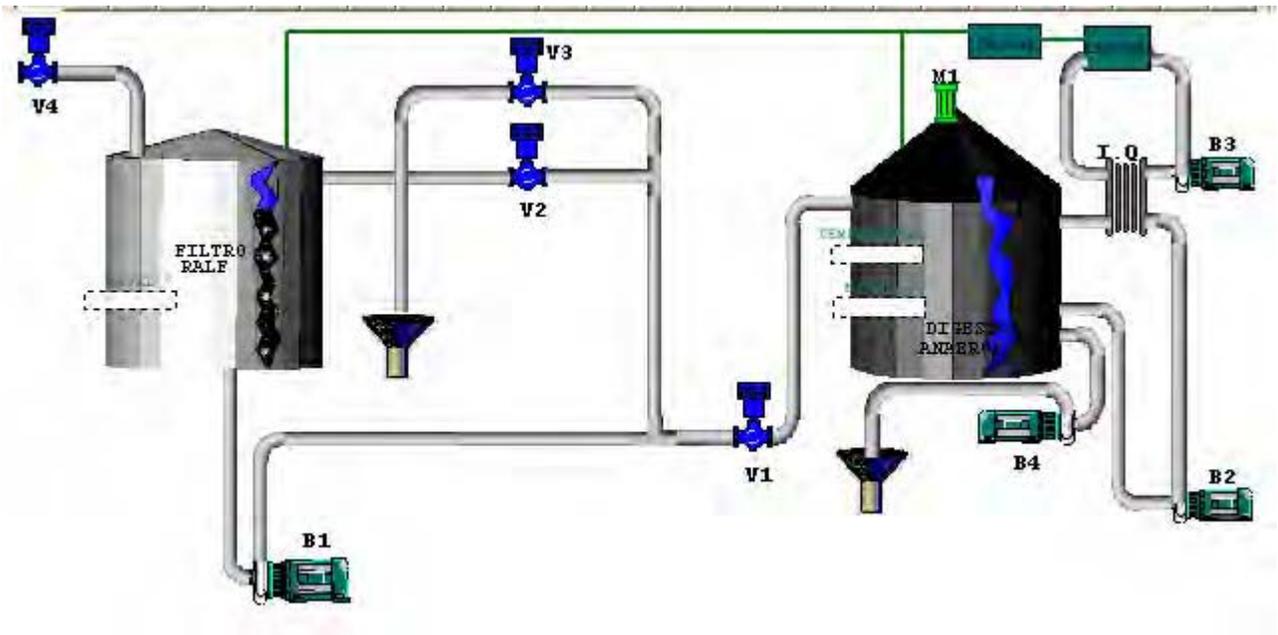
$H \approx 1 \text{ bar}$ , Presión que debe entregar la bomba

Se seleccionara una bomba Alfa-Laval, de las siguientes características (ver Anexo 3):

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Modelo          | : LKH-20    |
| Rodete          | : 165 mm.   |
| Potencia Motor  | : 1 kW.     |
| Velocidad Motor | : 1500 rpm. |



## CAPITULO 11 FILOSOFIA DE CONTROL



### Modo Operación

#### Condiciones Filtro:

- Llega a nivel máximo
  - No esta seleccionada parada de emergencia con llave
- 1) V1 es normalmente abierta, confirma status posición abierta.
  - 2) Se activa B1 para realizar la descarga del filtro
  - 3) Se detiene B1 cuando llega a nivel MIN, V1 sigue abierta.

**Condiciones Digestor:**

- 4) Con un nivel mínimo (equivalente a 4 descargas), comienza a funcionar agitador M1 y B2.
- 5) Transcurrido un tiempo de 1 hora entra en servicio B3 con caldera, para calentar lodos a 35°C.
- 6) Si temperatura sube a 37°C, se detiene caldera y B3.
- 7) Si temperatura baja a 33°C, nuevamente parte B3 y caldera a la temperatura programada.
- 8) Una vez que se alcanza el nivel de descarga del digestor entra en servicio B4, para lograr nivel normal de proceso.

**Nota: Al iniciar ciclo de proceso continúa hasta no requerir aseo.**

**Modo Aseo Filtro****Condiciones:**

- Se selecciona modo desde aplicación RSV
  - 1) Descarga a digestor lodos del filtro hasta llegar a cero % del mismo.
  - 2) Se cierra V1 y abre V2

- 3) V2 confirma posición abierta
- 4) B1 queda en posición de espera por falta de nivel.
- 5) Se abre V4, llena el filtro con agua potable hasta alcanzar nivel máximo, se cierra V4
- 6) Transcurriendo un tiempo X de recirculación a determinar, se detiene B1.
- 7) Se abre V3 y cierra V2
- 8) Al confirmar posición abierta V3 se pone en servicio B1 descargando filtro hasta nivel cero %, con lo cual termina aseo filtro.

## CAPITULO 12 CONDUCCION Y UTILIZACION DEL BIOGAS

### 12.1 CONDUCCION

El sistema de conducción de gas remueve el biogás desde el digestor y lo transporta hacia su uso final. Este sistema puede incluir: tubería, bomba de gas o turbina, medidor de gas, regulador de presión y evacuadores del condensado, en caso de ser requeridos. En la figura siguiente muestra la configuración de la línea biogás:

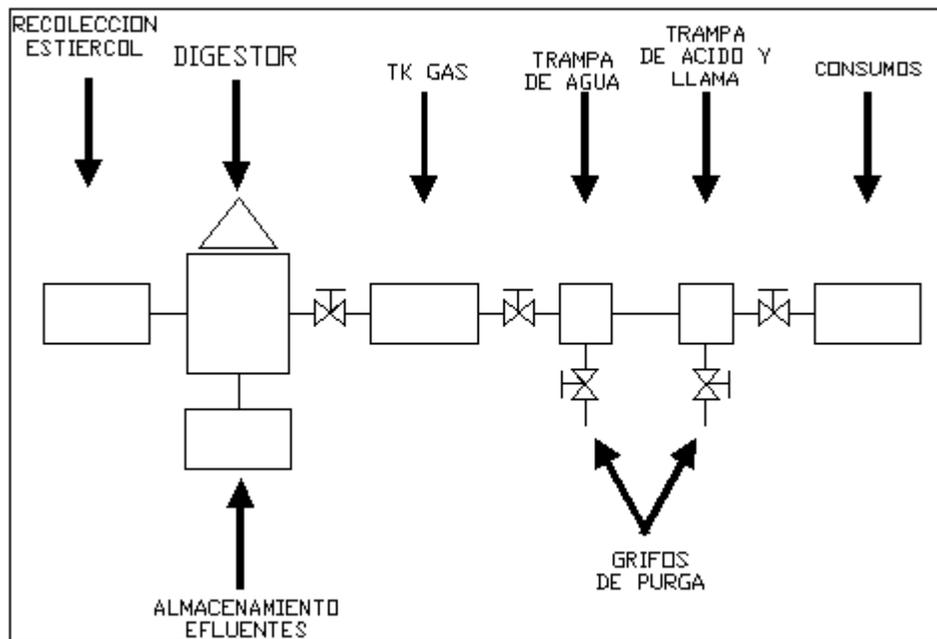


FIG. 12.1 N°1 Acondicionamiento del Biogás (PNUMA, 1986)

## 12.2 TRAMPAS DE AGUA

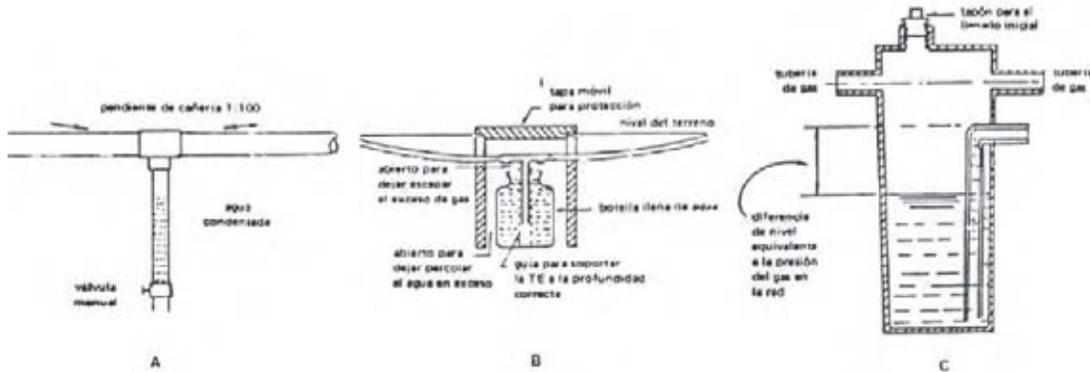


FIG. 12.2 N°1 Tipos de trampas a) Simple "T" b) Automático Subterráneo c) Automático tipo "Sifón"

El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua.

Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia un recipiente denominado trampa de agua donde ésta se almacena y se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua tanto manuales como automáticas (FIGURA 13 N°2), que son las recomendadas porque requieren de un mínimo mantenimiento.

## 12.3 TRAMPA DE ACIDO

En todas las plantas se deben prever trampas para eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). Estas trampas deben limpiarse cada quince días, de manera que se drene el condensado allí acumulado (Fig. 13 N°3).

La presencia de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) en el biogás, aún cuando puede ser inferior a 1 %, resulta una dificultad cuando se trata de utilizar el biogás en motores, refrigeradores, calentadores u otros dispositivos metálicos que pueden

ser afectados por este gas corrosivo. Utilizando la trampa sugerida (que sustituye filtros a base de óxido de hierro), es posible eliminar el azufre. Se requiere, evidentemente, revisar y sustituir la viruta de hierro cuando se agote en el depósito, por lo que se recomiendan soluciones de diseño que permitan un acceso fácil al interior.

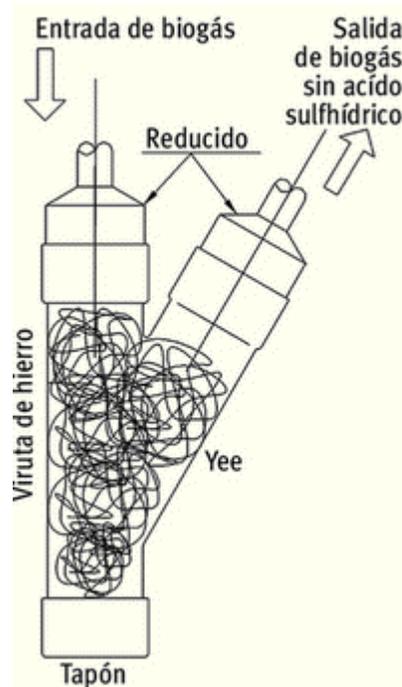


FIG. 12.3 N°1 Trampa de Acido

En cuanto al material a usar en las líneas, será tubería de PVC, ya que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico. Además la línea debe ir enterrada para evitar el deterioro por la luz solar (cristalización) y para evitar los daños físicos causados por hombres y animales.

## 12.4 UTILIZACION

Es importante anotar que la mayoría de gastos domésticos y equipos que utilizan gas, vienen diseñados de fábrica para trabajar con Gas licuado y gas propano a alta presión, por lo que es necesario modificar el dispositivo o fisto que regula el flujo de gas. Cuando se pasa de gas licuado o gas propano a gas natural el orificio del fisto es ampliado, para el caso del gas proveniente de biodigestores el orificio del fisto debe ser ampliado aún más, puesto que este gas es el que menos tiene menos presión y por tanto para mantener un mismo flujo se requiere un fisto con orificio de mayor diámetro. Esta operación la debe realizar un técnico con experiencia.

A continuación detallo algunos usos del biogás con sus consumos:

Tabla 12.4.1 Consumos según actividad (UPME,1986)

| Equipo  | Consumo de biogás en m <sup>3</sup> /hora |
|---|---|
| Estufa de cocina  | 0.150 – 0.200                             |
| Fogón para cocinar alimentos de los alimentos o frutas                  | 0.300                                     |
| Lámpara de gasequivalente a una bombilla de 60 W                        | 0.100                                     |
| Calentadores para lechones o cría de levante                            | 0.250                                     |
| Calentadores para cría de pollos  | 0.150                                     |
| Nevera de absorción de amoníaco   |   |
| Motor biogás – diesel por b.h.p   | 0.420                                     |
| Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezola biogás diesel | 0.700                                     |

## CAPITULO 13 UTILIZACION Y ALMACENAMIENTO DEL EFLUENTE

El efluente que permanece luego que el gas se ha producido se bombea a un tanque de almacenamiento, luego de lo cual puede ser distribuido directamente al suelo. Sin embargo, este producto se considera parcialmente tratado en esta etapa, y para almacenarlo se requieren instalaciones de almacenamiento, ya que los nutrientes presentes en el efluente deben ser aplicados al suelo o a los sembrados en épocas determinadas. El tamaño de la instalación y del período de almacenamiento debe ser adecuado para los requerimientos del predio.

Como alternativa el efluente puede separarse en fibra y líquido. La fibra se utilizara para tratamiento de suelos o para compostaje. El líquido contiene un rango de nutrientes y se utilizara como un fertilizante el cual se venderá o se utilizará en el predio como parte del plan de manejo de nutrientes para los sembrados que se tenga previsto.

**CAPITULO 14**  
**CUADRO DE COSTOS**

El siguiente cuadro resumen, consta de los elementos básicos de la instalación tanto lo diseñado como lo seleccionado.

Tabla 14.1 Cuadro Costos (ANEXO 1)

| Descripción Trabajo            | Cantidad | Valor +IVA    | Total                |
|--------------------------------|----------|---------------|----------------------|
| Construcción Estanques         | 2        | \$ 22.082.813 | \$ 44.165.626        |
| Construcción Cúpulas Estanques | 2        | \$ 12.350.000 | \$ 24.700.000        |
| Caldera                        | 1        | USD 2864      | \$ 1.432.000         |
| Quemador Biogás                | 1        | USD 572       | \$ 286.000           |
| Agitador Digestor              | 1        | \$ 3.850.000  | \$ 3.850.000         |
| Intercambiador de Calor        | 1        | \$ 4.500.000  | \$ 4.500.000         |
| Estanque Acumulador de Biogás  | 1        | \$ 1.500.000  | \$ 1.500.000         |
| Bombas Centrifugas             | 4        | USD 2686      | \$ 5.372.000         |
| <b>GRAN TOTAL</b>              |          |               | <b>\$ 85.805.626</b> |

## CAPITULO 15 CONCLUSIONES

Del presente proyecto se puede concluir:

- Es posible diseñar una planta de biogás localmente, debido que tecnológicamente no es un sistema complejo.
- En cuanto a los beneficios económicos producto de la generación de biocombustible en una producción como la del trabajo no resulta rentable para la zona, debido a la gran cantidad de energía, necesaria para mantener la temperatura del proceso, en este caso particular el gas producido en el día, alcanza para abastecer el quemador por 7,5 horas.
- La construcción de una planta de biogás necesita de una alta inversión inicial, operacionalmente es de baja o nula rentabilidad por lo que su ejecución obedece más que a una evaluación económica a una de carácter ambiental, dada las cada vez mayores exigencias de la legislación nacional e internacional sobre el manejo de purines.
- El trabajo cumple con los objetivos iniciales del proyecto.

## 16. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

BLAVA N., M. 1988. Digestión anaeróbica de Fecas de Conejos (*Oryctolagus Cuniculus*) para la Producción de Biogás. Tesis B. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. B. 94 p.

BRAVO G., J. 1992. Construcción de un Biodigestor en Ferrocemento. Tesis. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cs.

COFRE H., C. 2001. Guía para la Construcción y Operación de una Planta de Biogás, Alimentada con Lodos de la Industria Carnea. Tesis Cs. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cs.

CURRIE, O. 1992. BIOGÁS EN CHILE; CHILE, Revista Semente, Vol. 62

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT(gtz). 2003. PROYECTO SECTORIAL TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO DE RESIDUOS SÓLIDOS. Berlín, Alemania.84 p.

DURATEC-VINILIT. S.f., Boletín Técnico "Línea de Presión"; Santiago, Chile. 79 P.

FLORS, A., MADARRO, A. Y VALLES, D., 1981. PRODUCCION DE METANO POR FERMENTACION ANAERÓBICA; CHILE, Revista Agroquímica y Tecnología de los Alimentos, Vol. 21

FORECASTING AND ASSESSMENT IN SCIENCE AND TECHNOLOGY (FATS). 1981. ENERGY FROM BIOMASS TECHNOLOGIES. Bruselas, HUNGRÍA. 43 p.

FUENZALIDA A., A. 1995. Estudio de la Pre-Factibilidad Técnico Económica Para la Instalación de una Planta Generadora de Biogás a Partir de la Utilización de Desechos Orgánicos. Tesis. Santiago, Univ. Central de Chile, Fac. Cs. Ec. 78 p.

GRIBBIN, J. 1991. EL EFECTO INVERNADERO Y GAIA ; Madrid, España, Ed. Pirámides S.A. 335 p.

HOYER, H. y TRAUlsen, H. 1976. FLÜSSINMIST. RATIONALISIERUNGS – KURATORIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT. Kiel. 305 p.

INCROPERA, F. 1999. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR; EDITORIAL, PRENTICE HALL, MEXICO. 912 P.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS (COLOMBIA). S.f. PLANTA DE BIOGAS. Diseño, Construcción y Operación. EDITORIAL, GUADALUPE LTDA. Bogotá, COLOMBIA. 94 P.

INSTITUTO INGEFOR. 2004. Curso de Biogás; Lima, PERÚ. (Disponible en: <http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01.html>. Consultado el: 20 de Octubre del 2004).

I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agrícola). s.f., Manual para la Producción de Biogás. ARGENTINA. 57 p.

JARAUTA, L., 2004. Digestión Anaeróbica para el Tratamiento de Residuos Orgánicos, caso Perú. PERU. 128 p.

MONTALVO, S. y GUERRERO, L. 2003. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE RESIDUOS; Valparaíso, CHILE. 413 p.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1977. METHANE GENERATION FROM HUMAN, ANIMAL, AND AGRICULTURAL WASTES. Washington, D.C., U.S.A. 131 p.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), 1986. Utilización de los Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y el Caribe. México.

QASIM S., 1985. Wastewater treatment plant: Planning, design, and operation. New York. EE.UU.

RILLING L., E. 1985. Construcción y Prueba de un Biodigestor Anaeróbico con Estiércol de Vacuno. Tesis. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. Ag. 75 p.

SELCO MC. 2003. Digestión Anaeróbica y Cogeneración con Purín; Castellón, ESPAÑA. (Disponible en: <http://www.selco.net>. Consultado el: 10 de Septiembre del 2004)

THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY. 1979. Agricultural Anaerobic Digesters, Design and Operation. Pennsylvania. EE.UU. 50 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. 2000. Biomasa y Biogás; Chaco, ARGENTINA. (Disponible en: [ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf). Consultado el: 22 de Octubre del 2004)

UNITED NATIONS ENVIROMENT PROGRAMME. 1891. BIOGAS FERTILIZER SYSTEM. Technical Report on a Training Seminal in China. Nairobi, CHINA. 86 p.

UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). 2003. Guía para la Implementación de Sistemas de Producción de Biogás. Bogota. COLOMBIA. 47 p.

ANEXO 1  
**COTIZACIONES**



**MANUEL CANALES Y Cia. Ltda.**  
**METALMAC LTDA. RUT: 77.425.760-8**

MONTAJES INDUSTRIALES - CONTRATISTA Y  
 SUB-CONTRATISTA DE OBRAS MENORES  
 VALVULAS - CAÑERIAS - FITTINGS

**CASA MATRIZ:** Pobl. Los Volcanes Mz-29 C-1

Fono/Fax: 243305 **LLANQUIHUE**

**SUCURSAL:** Paipote N°1987

Fonos: 284086 - 282842 - 284086 Fax: 345542

**web: metalmac-ltda.cl**

**mail: metalmac1@surnet.cl**

**PRESUPUESTO**  
**N° 07/3253**



Señores

At. **Sr. Cristian Tellez**

Fecha **Octubre 16 de 2007**

| ITEM                                 | DESCRIPCION | P. UNITARIO | TOTAL |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------|
| TRABAJOS A REALIZAR EN DUCTO CALDERA |             |             |       |

1 Construcción cupula estanque digestor s/plano.

**TOTAL TRABAJO** \$ 12.350.000

|                           |                            |                  |      |
|---------------------------|----------------------------|------------------|------|
| - H.H. Maestro de Primera | Trabajos antes mencionados | 00 Hrs (\$5.192) | \$ - |
| - H.H. Ayudante mecánico  | Ayudante en trabajos       | 00 Hrs (\$3.628) | \$ - |

\* Valores no incluyen I.V.A.

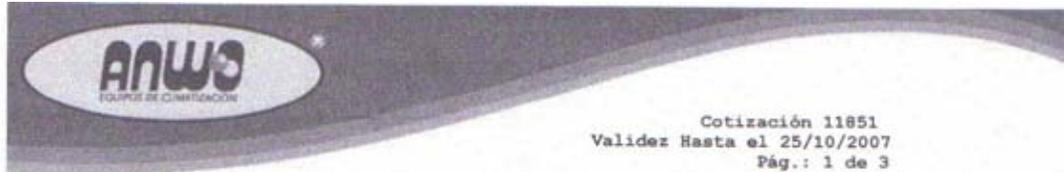
Sin otro particular y a la espera que la presente le sea favorable, le saluda atte,

**MANUEL CANALES Y CIA. LTDA.**

Rep. Legal: 6.310.691 - 7

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| TOTAL MANO DE OBRA | \$ -                 |
| TOTAL MATERIALES   | \$ 12.350.000        |
| <b>COSTO TOTAL</b> | <b>\$ 12.350.000</b> |

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| <b>VALOR NETO</b> | <b>\$ 12.350.000</b> |
|-------------------|----------------------|



Cotización 11851  
 Validez Hasta el 25/10/2007  
 Pág.: 1 de 3

Santiago, 18 de Octubre de 2007

Sr.

-----  
 Presente

Atención Sr.: LAS FACTURAS SE DEBEN ENVIAR

De nuestra consideración:

De acuerdo a lo solicitado por Uds., en la presente tenemos a bien cotizarles lo siguiente:

Consulte a su ejecutivo(a) de ventas  
 Anwo

| CANT     | DESCRIPCION   | P/U.US\$ | % Dcto. | TOTAL    |
|----------|---|----------|---------|----------|
| 1        | CALD.SIME 2R 10 154.5 MCAL<br>Marca..... : - Ningún fabricante<br>Código..... : 00.169.75<br>Observaciones :<br>Caldera de fierro fundido para quemadores de petroleo, parafina o gas so plado. Quemador no incluido. Potencia a nominal: 154.500 kCal/h Potencia termica: 171.700 kCal/h Peso: 676 kg.<br>Quemador Riello sugerido:<br>Gas : 40GS20<br>Petroleo: 40G20 | 3,370.00 | 15. -   | 2,864.50 |
| 1        | QUEMAD.RIELLO OIL 40G20 1/230/50<br>Marca..... : RIELLO<br>Código..... : 00.091747411<br>Observaciones :<br>POTENCIA: 81.700 - 183.180 KCAL/H   | 673.00   | 15. -   | 572.05   |
| % DESCTO |   |          |         | .00      |
| NETO..   |   |          |         | 3,436.55 |
| IVA...   |   |          |         | 652.94   |
| TOTAL.   |   |          |         | 4,089.49 |

CUADRO DE PESO Y VOLUMEN

VOLUMEN : .91 M3.

Anwo S.A. - Giro: Importadora - RUT: 99.574.860-6  
 Los Orlebres 380 - Parque Industrial La Reina - Santiago - Chile  
 Teléfono: (56-2) 7310000 - Fax: (56-2) 2731101  
 anwo@anwo.cl  
 Depositar en Cuenta BCL N° 10586601  
 Rut. 99.574.860-6 a nombre de Anwo S.A.

Anwo Empresa Certificada





**COTIZACIÓN  
AGITADORES DHIWOLL**

At.: Sr. Cristián Tellez

Fono: 65-325252

29/10/2007  
Santiago, Chile

Oferta: 1779

**Acrison®**



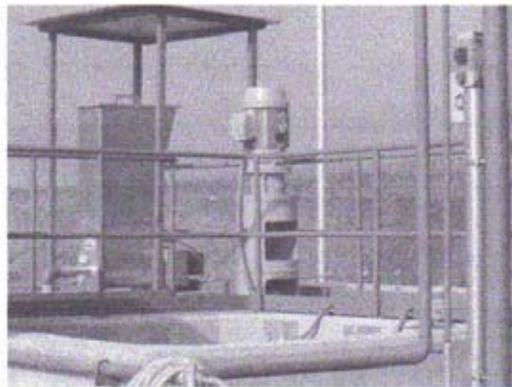


### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

| ÍTEM | CANT. | EQUIPO                  | MODELO |
|------|-------|-------------------------|--------|
| 1    | 1     | Equipo Agitador Dhiwoll | DWD90  |

### 2. AGITADOR DWD90

- Agitador DHIWOLL DWD
- Modelo: modelo DWD90
- Accionamiento: Eléctrico
- Potencia: 5,5 kw
- Voltaje: 380 volt
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad del agitador: 50 RPM



**Oficina Comercial:** Rafael Caña 47 3° piso  
Providencia, Santiago de Chile  
Fonofax: (56-2) 264 10 27 - (56-2) 264 28 36

**Planta Industrial:** Santa Inés 01743  
Quinta Normal, Santiago de Chile  
Fono: (56-2) 77 22 583 - Fax: (56-2) 357 04 46



### 3. INVERSIÓN

| N° | EQUIPO | TIPO DE EQUIPO                    | PRECIOS UNITARIOS<br>\$ |
|----|--------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1  | DWD90  | Equipo DWD 90,<br>5,5 kw. 50 rpm. | \$ 3.850.000 + IVA      |

### 5. CONDICIONES DE PAGO

#### a. Formas de Pago

Opción No.1 50 % CON ORDEN DE COMPRA  
50% CONTRA ENTREGA

#### PLAZO DE ENTREGA

Plazo de entrega: 30 días. ( desde que se pone la orden de compra y se hace el depósito)

Lugar de entrega: En nuestras bodegas en Santiago

#### b. GARANTÍA

Los equipos DHIWOLL cuentan con garantía de 12 meses desde la puesta en marcha, asistencia técnica gratuita región metropolitana.

Validez de la oferta: 15 días.

Saluda atentamente,

**Depto. Comercial Lecaros y Cía Ltda**

Oficina Comercial: Rafael Caña 47 3° piso  
Providencia, Santiago de Chile  
Fonofax: (56-2) 264 10 27 - (56-2) 264 28 36

Planta Industrial: Santa Inés 01743  
Quinta Normal, Santiago de Chile  
Fono: (56-2) 77 22 583 - Fax: (56-2) 357 04 46

ANEXO 2  
**HOJA TECNICA ACTUADOR ELECTRICO**

**ACTUADORES ELECTRICOS**

Permiten automatizar válvulas con accionamiento de un 1/4" de vuelta (bola y mariposa de 1/4" a 6" de diámetro). Sus aplicaciones son innumerables, pueden utilizarse con válvulas resistentes a fluidos corrosivos y/o productos contaminados y aplicaciones que no requieren presión diferenciada para abrir, además son una excelente solución para la automatización de válvulas que están instaladas en lugares con difícil acceso.

Ofrecemos dos tipos de actuadores para automatizar válvulas ya existentes en su planta o bien conjuntos completos armados de válvula y actuador eléctrico.

**Características**

Rotación: 90°

Protección: IP 65

Posee comando manual de emergencia

Temperatura de trabajo: -10 a + 50°C

Posee indicador de posición mecánico

Posee salida de contacto para

conocer el estado

de la válvula (abierta o cerrada)

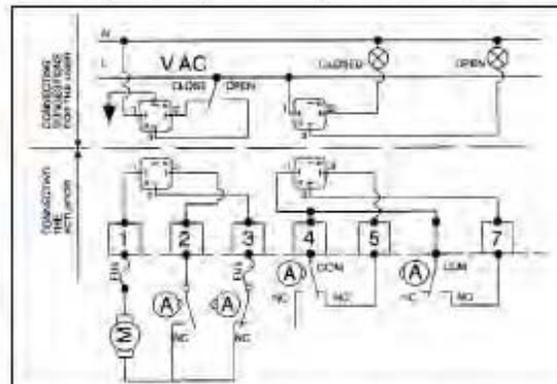
(Limit switch)



| Digito    | Catálogo      | Consumo | Tiempo Trabajo | Torque Nm | Peso Kgs. | Referencia Válvula Bola 3C | Referencia Válvula Mariposa | Montaje |
|-----------|---------------|---------|----------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------------------------|---------|
| 0106630-K | AE1-220VAC    | 0.2A    | 12 seg.        | 15        | 1.5       | 1/4" - 1/2"                | -                           | 9       |
| 0106635-0 | AE2-220VAC    | 0.35A   | 6.5 seg.       | 25        | 1.5       | 3/4" - 1 1/4"              | DN32-40-50-65               | 11      |
| 0106640-7 | AE3-60/240VAC | 0.35A   | 12 seg.        | 60        | 1.6       | 1 1/2" - 2"                | DN80-100                    | 17      |
| 0106642-3 | AE3-24VAC     | 1A      | 10 seg.        | 60        | 1.6       | 1 1/2" - 2"                | DN80-100                    | 17      |
| 0106645-6 | AE4-220VAC    | 0.30A   | 32 seg.        | 170       | 5.2       | 2 1/2" - 3"                | DN125-150                   | 22      |
| 0106650-4 | AE5-220VAC    | 0.30A   | 7.4 seg.       | 350       | 5.2       | 4"                         | DN200                       | 22      |



Modelo 3060 11-65

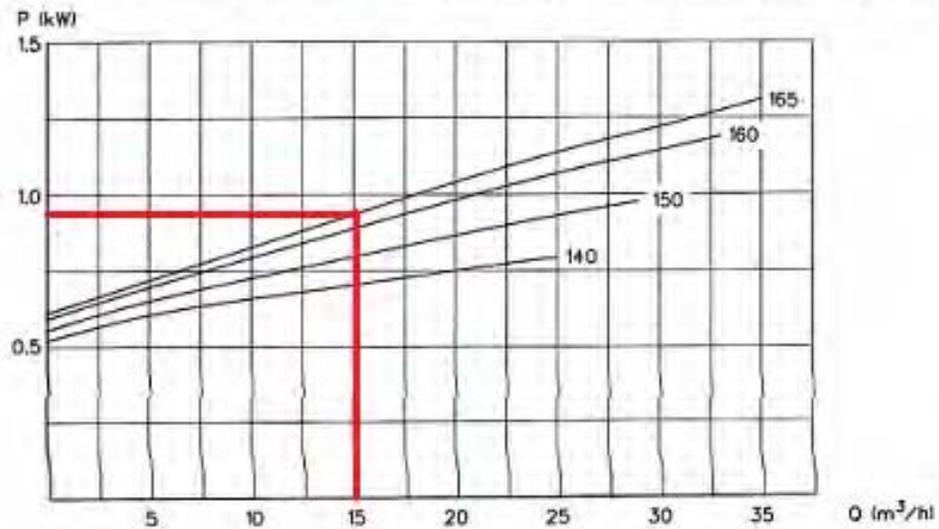
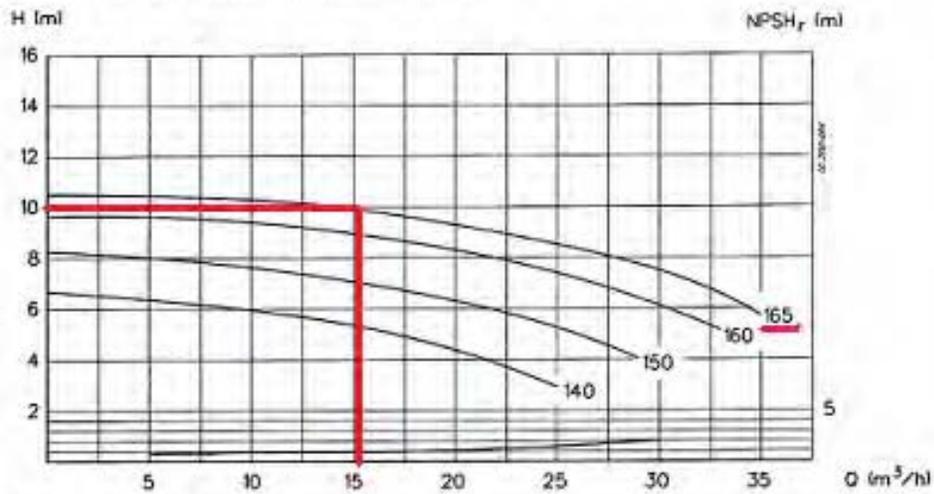


ANEXO 3  
**CURVAS RENDIMIENTO BOMBA CENTIFUGA**

**LKH-20, Centrifugal Pump**

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Type: <b>LKH-20.</b>                     | Impeller: Max. dia.: 165 mm      |
| Motor: <b>1500 rpm, synchron. 50 Hz</b>  | Min. dia.: 140 mm                |
| Tolerance: $\pm 5\%$ .                   | Pump inlet: Dia.: 63.5, NW 65.   |
|  | Pump outlet: Dia.: 51 mm, NW 50. |
| Performance data refer to water at 20°C. |                                  |

**NOTE!** The curves refer to max. motor: 1.5 kW, 1420 rpm, asynchron., 50 Hz.  
**DO NOT FORGET THE SAFETY FACTOR.**



LKM A/S

Alfa Laval

ANEXO 4  
**TABLA TEMPERATURAS**



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS  
Estación Climatológica "TEJA"

|     | 2004    | T.HIST | 2004     | T.HIST | 2004       | T.HIST |
|-----|---------|--------|----------|--------|------------|--------|
|     | 1 cm(*) |        | 5 cm(**) |        | 10 cm(***) |        |
| ENE | 27.3    | 26.9   | 26.1     | 24.2   | 23.8       | 22.3   |
| FEB | 25.7    | 24.3   | 24.6     | 22.8   | 22.6       | 21.3   |
| MAR | 19.7    | 19.3   | 19.8     | 19.1   | 18.7       | 18.1   |
| ABR | 14.4    | 14.7   | 14.5     | 14.4   | 14.0       | 13.9   |
| MAY | 10.6    | 11.4   | 10.9     | 11.2   | 10.5       | 11.0   |
| JUN | 10.0    | 8.9    | 10.0     | 8.8    | 9.8        | 8.6    |
| JUL | 9.1     | 8.5    | 9.0      | 8.2    | 8.7        | 7.9    |
| AGO | 10.7    | 10.0   | 10.4     | 9.6    | 9.7        | 9.2    |
| SEP | 12.7    | 11.3   | 12.5     | 11.9   | 11.5       | 11.2   |
| OCT | 15.9    | 16.3   | 15.4     | 15.5   | 14.5       | 14.4   |
| NOV | 20.0    | 20.4   | 19.5     | 19.3   | 18.0       | 17.8   |
| DIC | 22.1    | 24.2   | 21.7     | 22.6   | 20.1       | 20.8   |

Las temperaturas de 1 cm (\*), de 5 cm (\*\*) y de 10 cm (\*\*\*) son el equivalente a la media diaria mensual

La T.HIST es la resultante de los 44 años de mediciones que se realizan en la Est. "TEJA"

  
Dr. CARLOS OYARZUN ORTEGA  
DIRECTOR

J.G.SORIANO C.  
ASISTENTE DE LABORATORIO

VALDIVIA, junio de 2005

**PLANOS**