



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**Facultad Regional Concepción del Uruguay**  
**INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

## **PROYECTO FINAL DE CARRERA** **(P F C)**

“Aprovechamiento energético y mejoras ambientales en  
planta FADEL S.A.”

**Proyecto N°: PFC 1811B**

**Autores:**

- Albornoz, Brian Nahuel.
- Euler, Roberto Javier.
- Pennesi, Carlos Martin.

**Tutor:**

- Ing. Raffo, Fernando Carlos.

**Dirección de Proyectos:**

- Ing. Puente, Gustavo.
- Ing. De Carli, Aníbal.

**AÑO 2019**

# ÍNDICE GENERAL

**1. ANEXO II**

**2. CARÁTULA, RESUMEN EJECUTIVO Y  
AGRADECIMIENTOS**

**3. INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN  
PROBLEMÁTICA**

**4. OBJETIVOS, ALCANCES Y PLAN DE  
TRABAJO**

**5. INGENIERÍA BÁSICA**

**6. INGENIERÍA DE DETALLES**

**7. MEMORIAS DE CÁLCULO**

**8. ANEXOS COMPLEMENTARIOS**

**9. ANEXO III**

**10. CONCLUSIÓN FINAL**

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

**Tipo de PFC:** Ingeniería y Diseño.

**Planteo del problema:**

La planta de FADEL S.A., ubicada en Pronunciamento, provincia de Entre Ríos, pierde la oportunidad de aprovechar como fuente de energía el gas que actualmente se está generando en la pileta de efluentes. En ésta se desecha el agua de la faena, el lavado de camiones y las jaulas de aves; provocando una reacción química, la cual produce Biogás.

Adicionalmente se estaría contribuyendo al medio ambiente evitando liberar estos gases a la atmósfera, los cuales provocan “Gases de efecto Invernadero”.

**Marco teórico de referencia y estado del arte:**

La inclusión de digestión anaerobia, no sólo proporciona un importante potencial de producción energía renovable y un ahorro en combustible fósil, sino que conlleva a buscar alternativas viables que mejoren el sistema de aprovechamiento de residuos. Es así que la caracterización de las aguas residuales es un factor clave y necesario para la producción de biogás, ya que depende de ciertos parámetros como el pH, temperatura, y una relación carbono/nitrógeno adecuada a fin de que las bacterias metanogénicas, iniciadoras del proceso de biodigestión, puedan subsistir en dicho ambiente.

El desarrollo de la generación de biogás a partir de los residuos de diferentes procesos vino acompañado de un gran avance tecnológico en los equipos y procesos, haciendo hincapié en la eficiencia y aprovechamiento que éstos pueden brindar. Tal es el avance que nos permite, en nuestro caso, convertir una pileta de aguas residuales en un biodigestor.

**Objetivos:**

1. Diseñar un biodigestor junto con los cálculos de equipos y accesorios que este conlleve.
2. Diseñar la planta de extracción de gas correspondiente.
3. Calcular la instalación eléctrica del biodigestor.

**Alcance:**

- Ingeniería básica:
  - Del diseño del proceso (Biodigestión del efluente líquido).
  - De la instalación eléctrica de los equipos.
- Ingeniería de detalle:
  - Del recubrimiento y conexionado de la pileta de efluentes.
  - Del sistema de intercambio de calor.
  - De la planta de extracción de gas.
- Seguridad e higiene industrial de los ítems anteriores.
- Análisis económico y retorno de inversión.

**No comprende**

- Obra civil.
- Ni potenciales reingenierías de servicios necesarios (vapor y electricidad aguas arriba de la planta de biodigestión).

**Metodología a utilizar:**

1. Relevamiento de la instalación actual.
2. Estudio de oportunidad de aprovechamiento de residuos.
3. Análisis y propuesta tecnológica (Ingeniería Básica).
4. Cálculo y diseño de procesos y equipos necesarios.
5. Presupuesto.

**Impacto:**

|           |   |
|-----------|---|
| ECONÓMICO | El combustible será utilizado en la caldera para la producción de vapor.  |
| AMBIENTAL | Mejora de las condiciones de higiene en la zona de planta.<br>Reducción de malos olores.<br>Reducción en los gases de efecto invernadero. |
| OTROS     | Se fomenta el uso de la energía renovable.  |

**Tutor:** Ing. Fernando Raffo.

Firma Alumno

Firma Alumno

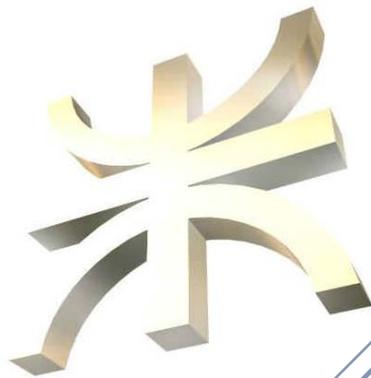
Firma Alumno

Firma Tutor

Firma jefe de cátedra

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



CARÁTULA-RESUMEN  
EJECUTIVO Y  
AGRADECIMIENTOS

## Resumen Ejecutivo

El proyecto presentado aquí, propone la ingeniería necesaria para transformar una pileta de efluentes de la planta FADEL S.A., en un biodigestor que aproveche todo el biogás posible generado por el efluente actual. La ingeniería prevé un sistema para calefacción del efluente que ingresa hoy a la pileta, el diseño de las etapas de extracción y acondicionamiento de biogás, como así también todos los componentes y elementos de control auxiliar para el mejor desempeño ambiental y de seguridad laboral.

## Abstract

The project presented here, suggest the required engineering to transform an effluent pool of the FADEL S.A. plant into a biodigester that takes advantage of all the possible biogas produced by the current effluent. The engineering estimated a system to heat up the effluent that enters to the pool, the design of the stages of extraction and preparation of biogas, as all components and auxiliary control elements for the best environmental performance and employment security.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias que nos han acompañado y apoyado incondicionalmente.

A nuestros compañeros de estudio y de vida con quienes hemos compartido estos años.

A la facultad en general por abrirnos sus puertas y formarnos como profesionales.

Hacemos mención especial a:

- Sr. Adelqui Tournour. (Intermediario por parte de empresa FADEL S.A.).
- Ing. Fernando Raffo, nuestro tutor.
- Ing. Matias Martin e Ing. Elbio Woeffray, que desinteresadamente nos han brindado asesoramiento técnico.
- A todos aquellos que de alguna u otra manera intervinieron en el presente trabajo ya sea proporcionándonos información o abriéndonos las puertas de sus empresas (visitas).

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



SITUACIÓN  
PROBLEMÁTICA

## INDICE

|  |   |
|--|---|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                   | 2 |
| 2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....                        | 2 |
| 3. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA Y ESTADO DEL ARTE ..... | 3 |
| 3.1. Digestión Anaerobia .....                         | 3 |
| 3.2. Tipos De Biodigestores.....                       | 4 |

## 1. INTRODUCCIÓN

FADEL S.A. es una joven empresa de la provincia de Entre Ríos dedicada a la cría y venta de pollos parrilleros y porcinos. El proyecto tiene lugar en su planta de faena avícola ubicada en las zonas aledañas a la localidad de Pronunciamento, Entre Ríos.



En la misma se realizan una serie de procesos con los que se obtienen los siguientes productos terminados: pollo entero (Grado A y Grado B), pollo trozado (alas, cuarto trasero, pechuga, piel sin planchar) y carne mecánicamente separada (CMS).

Nuestro estudio se centra en el agua que se utiliza en los procesos de producción y se trata en la pileta de efluentes de la planta. Ésta es producto de los procesos de: faena, lavado de camiones y las jaulas de aves, los que requieren un caudal de 1000 m<sup>3</sup>/día. La misma contiene un gran número de bacterias que, mediante un proceso anaeróbico, se descompone en productos gaseosos o “Biogás” (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.).

Con esta información, se realizará una recopilación de datos para el diseño y cálculo de un biodigestor.

## 2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

- **La empresa pierde la oportunidad de aprovechar como fuente de energía el gas que actualmente se está generando en la pileta de efluentes.**
- Se estaría contribuyendo al medio ambiente evitando liberar estos gases a la atmósfera, los cuales provocan “**Gases de efecto Invernadero**”.

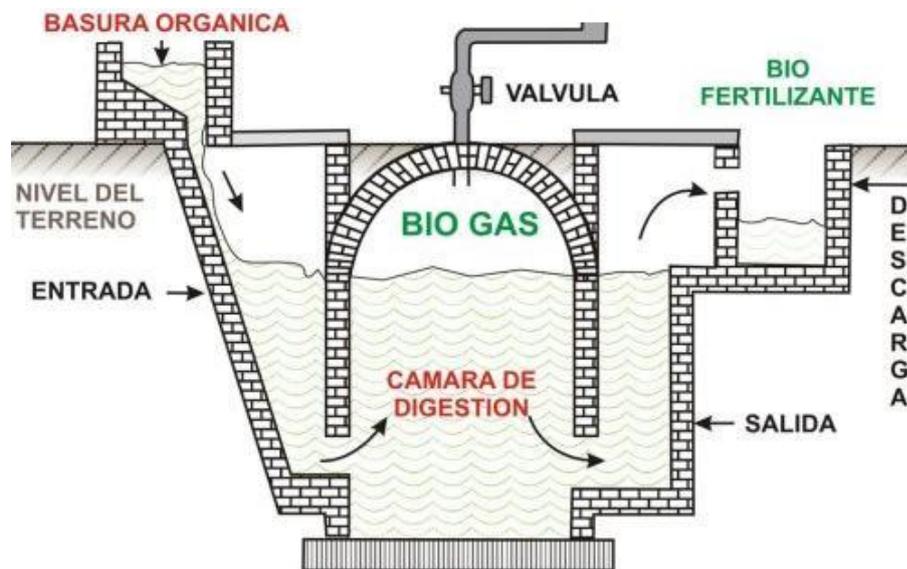
|  |   |         |               |
|--|---|---------|---------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó:<br>ACDC – 4/6/19<br>GP – 13/12/19 | Aprobó: | Página 2 de 4 |
|--|---|---------|---------------|

### 3. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA Y ESTADO DEL ARTE

Como se explicó anteriormente, para la resolución de la situación problemática, se plantea el diseño y cálculo de un biodigestor, por lo que se comenzará definiéndolo.

Los biodigestores son depósitos o tanques cerrados herméticamente que producen biogás. Permiten la alimentación de sustratos (biomasa) y descarga (efluente) de bioabono y tienen un sistema de recolección y almacenamiento del biogás para su aprovechamiento energético. Los biodigestores aprovechan la materia orgánica producida por animales (estiércoles), residuos agrícolas, restos de cosechas, residuos de procesos agroindustriales, de mataderos, de extractoras de aceite de palma africana, residuos urbanos (aguas residuales, basura orgánica), etc.

#### 3.1. Digestión Anaerobia



La **digestión anaerobia** es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. También es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

|  |  |         |               |
|--|--|---------|---------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó: ACDC – 4/6/19<br>GP – 13/12/19 | Aprobó: | Página 3 de 4 |
|--|--|---------|---------------|

Los biodigestores se pueden construir del tipo laguna o sobre tierra en base a tanques de acero vidriado. Los mismos tienen una cubierta de membrana de caucho, sistema mecánico de agitación, extracción de lodos, control del proceso, extracción y aprovechamiento del biogás.

En nuestro caso se hará referencia a los biodigestores de “Tipo laguna” ya que se realizará el proyecto en base a éste tipo, por las características que presenta el efluente descrito.

### 3.2. Tipos De Biodigestores

#### Biodigestor tipo laguna

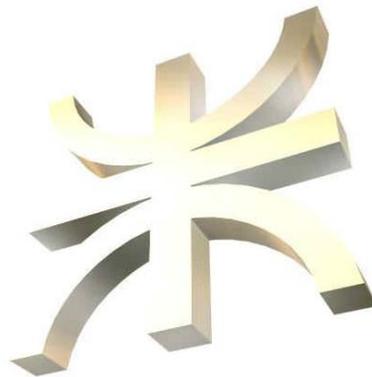


#### Biodigestor sobre tierra



# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



## OBJETIVOS, ALCANCES Y PLAN DE TRABAJOS

## INDICE

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 1. OBJETIVOS .....       | 2 |
| 2. ALCANCE .....         | 2 |
| 3. IMPACTO .....         | 3 |
| 4. PLAN DE TRABAJO ..... | 3 |

## 1. OBJETIVOS

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera (PFC) es el:

- Diseño y cálculo de un biodigestor que aprovecha los efluentes provenientes de la planta de la Empresa Fadel S.A. para generar biogás.
- Utilizar el potencial energético ya presente en el efluente para substituir (en parte o totalmente) la demanda de energía de calefacción de la planta, que actualmente se abastece utilizando GLP.
- Diseño de planta extracción y acondicionamiento de biogás, que sea capaz de acondicionarlo para su uso en la caldera existente, teniéndose la posibilidad, en caso de necesidad por no alcanzar a cubrir la demanda, de utilizar también el sistema actual de GLP.

## 2. ALCANCE

- Ingeniería básica:
  - Proceso (Biodigestión del efluente líquido).
  - Instalación eléctrica de los equipos.
  - Del recubrimiento y conexión de la pileta de efluentes.
- Ingeniería de detalle:
  - Del sistema de intercambio de calor.
  - De la planta de extracción de gas.
- Seguridad e higiene industrial de los ítems anteriores.
- Ambiente
- Análisis económico y retorno de inversión.

### No comprende

- Obra civil.
- Ni potenciales reingenierías de servicios necesarios (vapor y electricidad aguas arriba de la planta de biodigestión).

|  |   |         |               |
|--|---|---------|---------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó:<br>ACDC – 4/6/19<br>GP – 13/11/19 | Aprobó: | Página 2 de 3 |
|--|---|---------|---------------|

### 3. IMPACTO

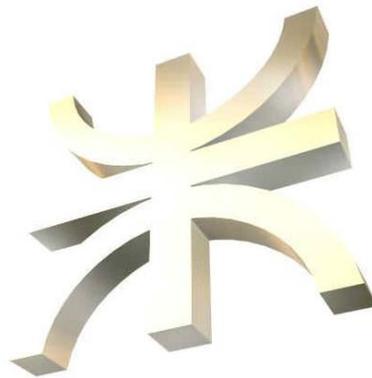
|           |   |
|-----------|---|
| ECONÓMICO | Reducción de consumo y dependencia de combustible envasado (GLP).   |
| AMBIENTAL | Mejores condiciones de higiene en la planta y en zona aledaña.<br>Reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. |
| OTROS     | Se fomenta el uso de la energía renovable.  |

### 4. PLAN DE TRABAJO

1. Relevamiento de la instalación actual.
2. Estudio de oportunidad de aprovechamiento de residuos.
3. Análisis y propuesta tecnológica (Ingeniería Básica).
4. Cálculo y diseño de procesos y equipos necesarios.
5. Presupuesto.

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



INGENIERÍA  
BÁSICA

## ÍNDICE

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN .....   | 2  |
| 1.1.   | Descripción General.....   | 2  |
| 1.2.   | Predio Disponible .....  | 2  |
| 1.3.   | Proceso.....   | 3  |
| 1.3.1. | Descripción .....  | 3  |
| 1.3.2. | Diagrama de procesos propuesto .....                             | 3  |
| 2.     | LAYOUT Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....                            | 4  |
| 2.1.   | Layout – Planta Completa .....                                   | 4  |
| 2.2.   | Layouts De Sectores.....   | 5  |
| 2.2.1. | Layout - Circuito de calefacción .....                           | 5  |
| 2.2.2. | Layout - Planta de acondicionamiento y extracción de biogás..... | 6  |
| 2.2.3. | Layout - Recirculación de biodigestor.....                       | 7  |
| 3.     | EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR.....                              | 8  |
| 4.     | TORRE DE ENFIAMIENTO .....                                       | 8  |
| 5.     | RECUBRIMIENTO .....  | 9  |
| 6.     | PLANTA DE EXTRACCIÓN DE BIOGAS.....                              | 9  |
| 7.     | SISTEMA DE BOMBEO.....   | 9  |
| 7.1.   | Circuito De Efluente O De Faena .....                            | 9  |
| 7.2.   | Circuito De Enfriamiento .....                                   | 10 |
| 7.3.   | Circuito De Recirculación Del Biodigestor .....                  | 10 |
| 8.     | INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....                                      | 10 |

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción General

La eficiencia de la producción de biogás se centra principalmente en la temperatura a la que se encuentra el interior del biodigestor. Ésta se debe mantener lo más constante posible, es decir, que la variación de la misma debe ser lo menor posible en el transcurso del año.

Para cumplir dicho propósito es que se decide calefaccionar el agua de ingreso al biodigestor, desarrollando el diseño de un intercambiador de casco y tubos desde cero. También se incluye la planta de extracción y acondicionamiento de gas con todos los equipos que esta requiere.

La propuesta elegida para la calefacción se detalla en la “Sección 2.4. de Memorias de Cálculo”.

### 1.2. Predio Disponible

A continuación, se presenta un esquema de la ubicación de las plantas.



La empresa Fadel S.A. cuenta con el espacio suficiente para la construcción de los sectores donde se dispondrán los intercambiadores de calor, la planta de extracción y acondicionamiento de gas y la pileta de enfriamiento. El mismo se ubica en un terreno adyacente a la planta de faena, en donde se dispone de un predio con unas medidas de 50 metros de ancho por 30 metros de largo.

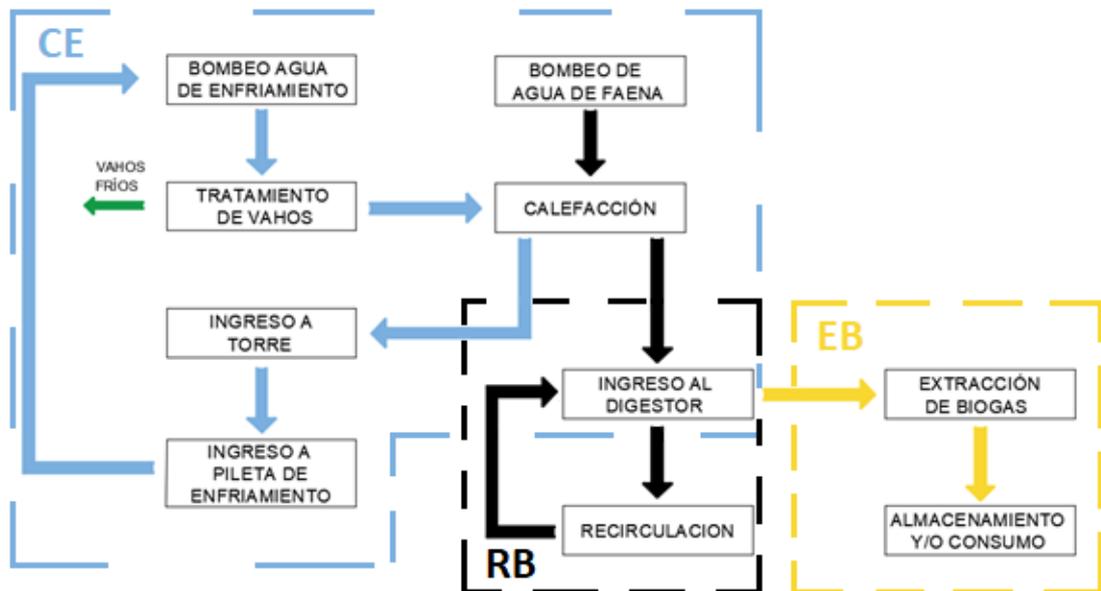
### 1.3. Proceso

#### 1.3.1. Descripción

El agua de faena, proveniente de un equipo que elimina los sólidos por flotación denominado DAF, se bombea e ingresa al intercambiador de calor de casco y tubos donde se calienta para posteriormente entrar al biodigestor. Este calentamiento se logra gracias al agua del circuito de enfriamiento de los acucondensadores, que son los encargados de bajar la temperatura de los gases de vahos provenientes de los digestores, la cual sale a una temperatura de aproximadamente 60°C e ingresa al intercambiador de calor de casco y tubos para calentar el agua de faena. Luego se envía el agua de intercambio a una torre de enfriamiento, ya con una temperatura menor, para disminuir aún más su temperatura y posteriormente ingresar a la pileta de enfriamiento cerrando el circuito para volver a los acucondensadores.

En la planta de extracción y acondicionamiento de gas, a través de un soplador, se succiona el biogás que se encuentra en el biodigestor haciéndolo pasar por diversos filtros que se encargan de eliminar impurezas del mismo. Luego, el biogás pasa por una serie de medidores que permiten llevar un mejor control del gas extraído. Una vez hecho esto, el biogás se encuentra disponible para ser consumido.

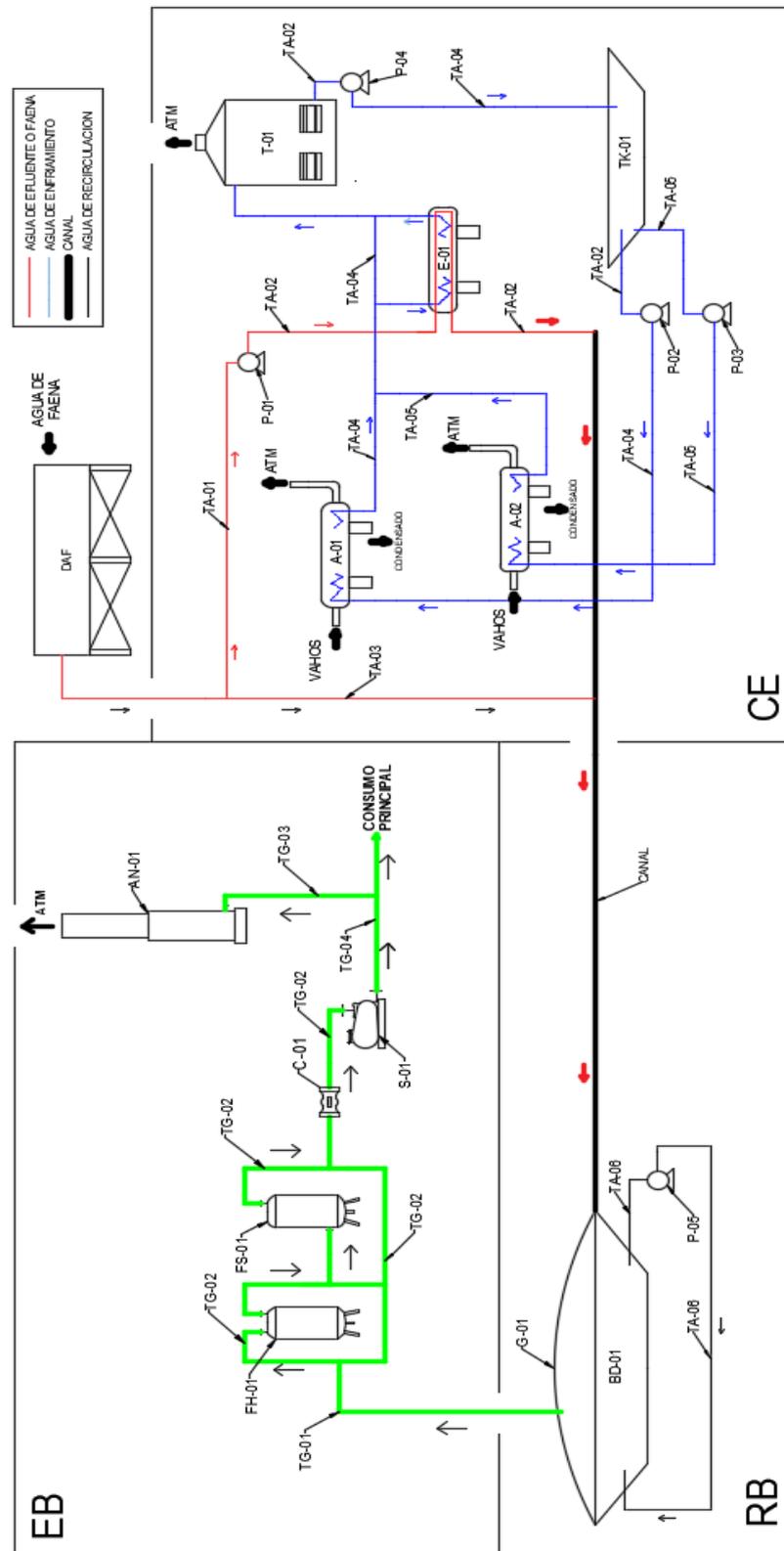
#### 1.3.2. Diagrama de procesos propuesto



| N° | SECTORES                     | CODIGOS |
|----|------------------------------|---------|
| 1  | Calefacción de efluente      | CE      |
| 2  | Extracción de biogás         | EB      |
| 3  | Recirculación de biodigestor | RB      |

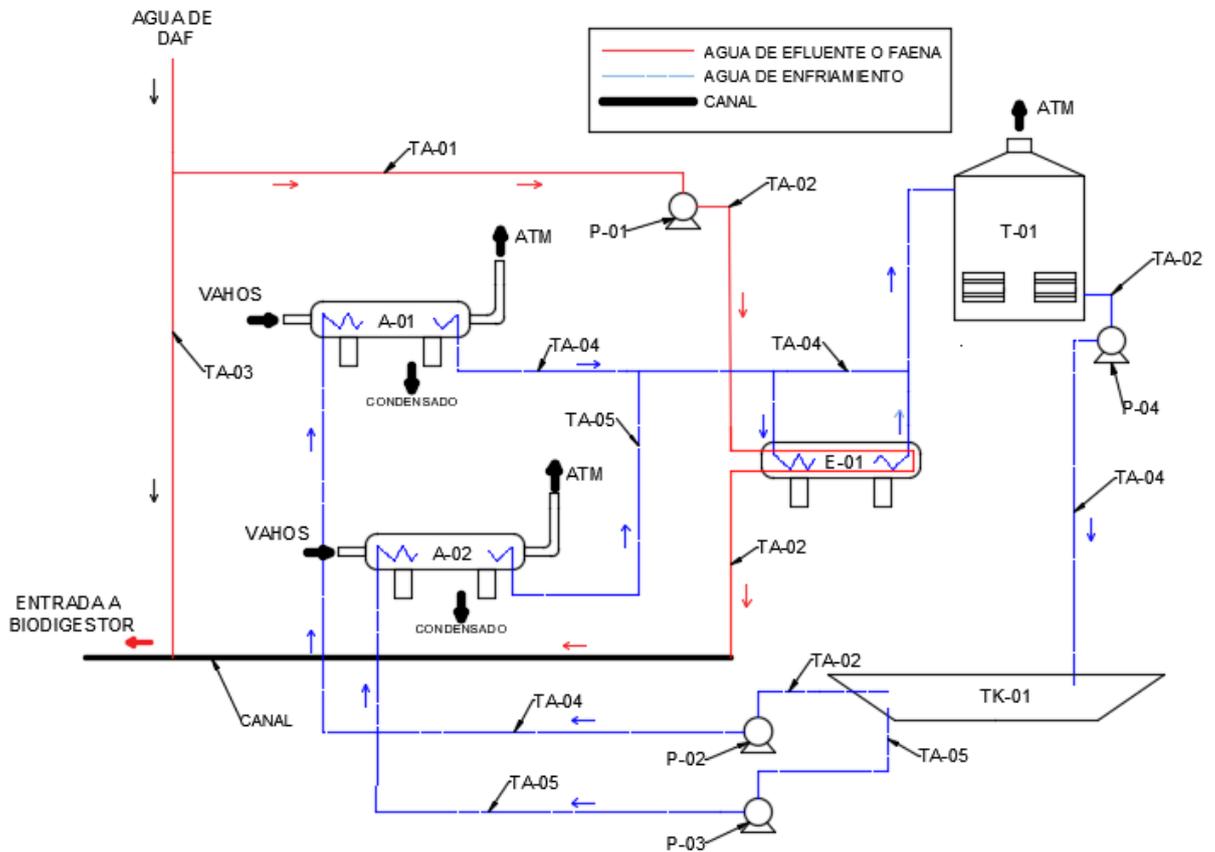
## 2. LAYOUT Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

### 2.1. Layout – Planta Completa



## 2.2. Layouts De Sectores

### 2.2.1. Layout - Circuito de calefacción



#### 2.2.1.1. Codificación de equipos y tuberías

| N° | SECTOR                  | CÓDIGO |
|----|-------------------------|--------|
| 1  | Calefacción de efluente | CE     |

#### EQUIPOS

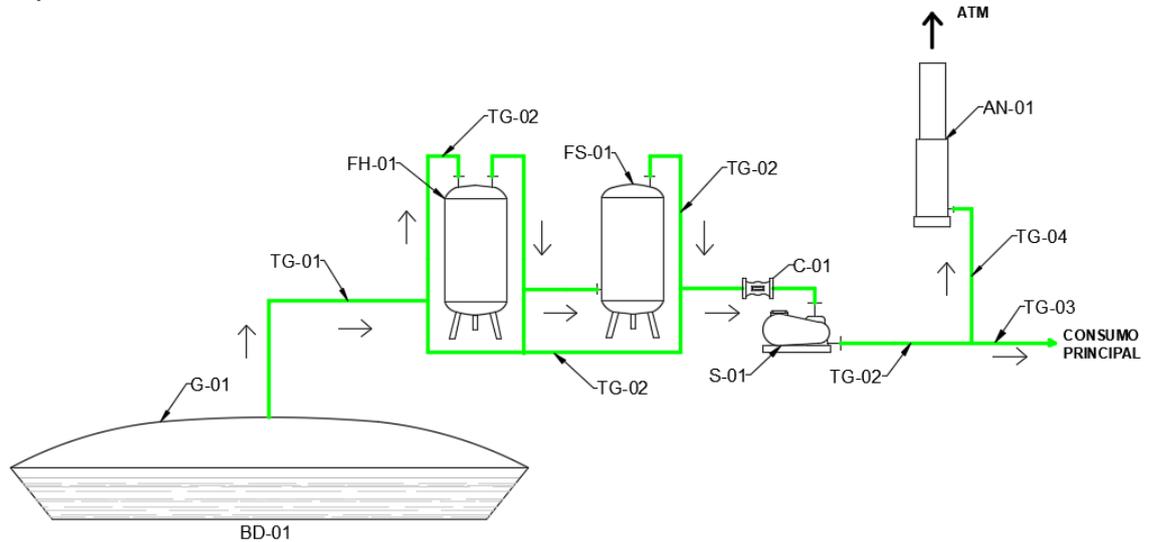
|   |                                  |       |
|---|----------------------------------|-------|
| 1 | Acuocondensador de vísceras      | A-01  |
| 2 | Acuocondensador de plumas        | A-02  |
| 3 | Intercambiador de casco y tubos  | E-01  |
| 4 | Torre de enfriamiento            | T-01  |
| 5 | Tanque de enfriamiento           | TK-01 |
| 6 | Bomba (DAF - Agua de efluentes)  | P-01  |
| 7 | Bomba (Acuocondensador vísceras) | P-02  |
| 8 | Bomba (Acuocondensador plumas)   | P-03  |
| 9 | Bomba (Torre de enfriamiento)    | P-04  |

#### TUBERÍAS

|   |  |       |
|---|--|-------|
| 1 | Tubería de aspiración (Agua de efluente)       | TA-01 |
| 2 | Tubería de impulsión (Agua de efluente)        | TA-02 |
|   | Tuberías de aspiración (Torre de enfriamiento) |       |

|   |   |       |
|---|---|-------|
| 3 | Tubería de Bypass (Agua de efluente)  | TA-03 |
| 4 | Tubería impulsión (Acuocondensador vísceras)<br>Tuberías de impulsión (Torre de enfriamiento) | TA-04 |
| 5 | Tubería aspiración (Acuocondensador plumas)<br>Tubería impulsión (Acuocondensador plumas)     | TA-05 |

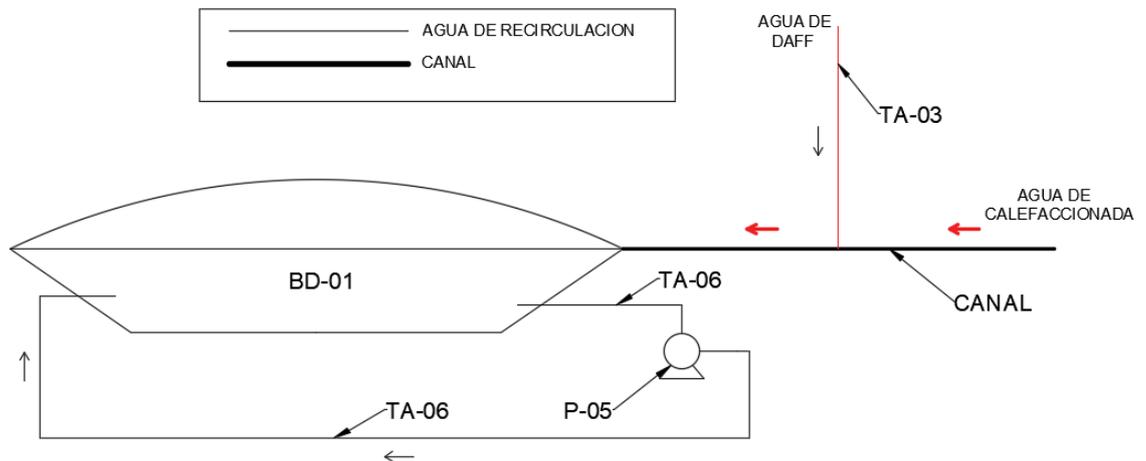
## 2.2.2. Layout - Planta de acondicionamiento y extracción de biogás



### 2.2.2.1. Codificación de equipos y tuberías

| N°              | SECTOR                                       | CÓDIGO |
|-----------------|--|--------|
| 2               | Extracción de biogás                         | EB     |
| <b>EQUIPOS</b>  |  |        |
| 1               | Antorcha                                     | AN-01  |
| 2               | Soplador                                     | S-01   |
| 3               | Deshidratador                                | FH-01  |
| 4               | Desulfurizador                               | FS-01  |
| 5               | Geomenbrana                                  | G-01   |
| 6               | Caudalímetro                                 | C-01   |
| <b>TUBERÍAS</b> |  |        |
| 1               | Tubería de biogás (Alimentación de planta)   | TG-01  |
| 2               | Tubería de biogás (Equipos y Bypass)         | TG-02  |
| 3               | Tubería de biogás (Consumo principal)        | TG-03  |
| 4               | Tubería de biogás (Alimentación de antorcha) | TG-04  |

### 2.2.3. Layout - Recirculación de biodigestor



#### 2.2.3.1. Codificación de equipos y tuberías

| N°              | SECTOR                            | CÓDIGO |
|-----------------|-----------------------------------|--------|
| 3               | Recirculación de biodigestor      | RB     |
| <b>EQUIPOS</b>  |                                   |        |
| 1               | Biodigestor                       | BD-01  |
| 2               | Bomba                             | P-05   |
| <b>TUBERÍAS</b> |                                   |        |
| 1               | Tubería de aspiración e impulsión | TA-06  |

### 3. EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR

#### *Intercambiador de Casco y Tubos*



#### Descripción General

Para lograr el cometido de obtener un mayor intercambio de calor para así elevar la temperatura en la pileta anaeróbica, se utiliza un intercambiador de casco y tubos. En el mismo se realiza una interacción entre el agua calentada por los gases de vahos, producidos por las máquinas en la planta de subproductos, y el agua a calentar siendo ésta procedente del proceso de faena.

Se adjunta información adicional del equipo (Ver “*Sección 3.1. de Anexos Complementarios*”).

### 4. TORRE DE ENFIAMIENTO



CE-T-01

#### Descripción General

La torre de enfriamiento es un equipo que se utiliza para disminuir la temperatura del agua a una temperatura adecuada para el trabajo de los equipos de calefacción. La misma dispone de un depósito o pileta de agua, en donde su nivel será controlado por la cisterna del propio equipo a través de un sistema de control automático.

|  |                       |         |                |
|--|-----------------------|---------|----------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó: GP – 20/11/19 | Aprobó: | Página 8 de 10 |
|--|-----------------------|---------|----------------|

## 5. RECUBRIMIENTO

### Descripción general

Para la captación y retención del biogás generado por la pileta de efluentes se utilizará una geomembrana que recubrirá la misma. Se denomina como geomembranas a las películas de alto espesor principalmente fabricadas en polietileno de densidad baja, media o alta según su aplicación.

Su característica de ser flexibles, imputrescibles, de larga duración frente a la exposición solar, presentación en anchos importantes y soldabilidad de los paños han convertido a las geomembranas en un insumo fundamental para la impermeabilización.

## 6. PLANTA DE EXTRACCIÓN DE BIOGÁS

### Descripción General

La planta de extracción de biogás juega un papel importante en el proyecto ya que gracias a la misma se es capaz de acondicionar el biogás para su uso y/o almacenamiento. Es por eso que la misma contará con todos los sistemas de protección, transporte y tratamiento para así obtener los mejores resultados posibles.

Los sistemas de captación de biogás son muy importantes en la producción del mismo. Se debe garantizar la no entrada de aire por las sondas de captación. El aire actúa negativamente en la producción de biogás ya que altera las condiciones anaerobias del biodigestor. Esto repercute no sólo en una menor producción de biogás sino también en una reducción de la concentración de metano que éste contiene.

Se adjunta información adicional (Ver “Sección 3.2. de Anexos Complementarios”).

## 7. SISTEMA DE BOMBEO

Se tienen 3 circuitos:

- Circuito de efluente o calefacción
- Circuito de enfriamiento
- Circuito de recirculación

### 7.1. Circuito De Efluente O De Faena

Se toma el efluente que sale del DAF y se bombea hasta el intercambiador de casco y tubos, para así poder calentarlo y luego ingresarlo al biodigestor.

|  |                          |         |                |
|--|--------------------------|---------|----------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó:<br>GP – 20/11/19 | Aprobó: | Página 9 de 10 |
|--|--------------------------|---------|----------------|

## 7.2. Circuito De Enfriamiento

Este circuito toma agua de la pileta de enfriamiento bombeándola hasta los acucondensadores para posteriormente ingresar al intercambiador de calor. Luego de salir de este, ingresa a una torre de enfriamiento en donde otra bomba envía el agua ya fría nuevamente a la pileta de enfriamiento cerrando así el circuito.

## 7.3. Circuito De Recirculación Del Biodigestor

El objetivo de la recirculación en un biodigestor es volver a inyectar bacterias maduras, para así ayudar al proceso anaeróbico. Se debe recircular entre el 20-30% del volumen de la pileta en el día, en nuestro caso tenemos un volumen de 10000 m<sup>3</sup> por lo que el caudal a recircular será de 2000 a 3000 m<sup>3</sup>/día.

# 8. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

## Descripción general

La instalación eléctrica comprende principalmente la alimentación de las bombas y el soplador, tanto para la calefacción de la pileta como para la extracción de biogás; de forma secundaria pero no menos importante también comprende la alimentación e iluminación de dichos sectores.

La alimentación para la instalación se toma desde el tablero principal de la planta de subproductos. Cada sector tendrá su tablero de alimentación para los equipos antes mencionados, cada uno ubicado en su respectivo sector.

Todo lo antes mencionado debe verificar lo establecido por la AEA 90364 (Asociación Electrotécnica Argentina).

Se adjuntan planos de diagramas unifilares del tendido eléctrico y planos esquemáticos de los tableros propuestos.

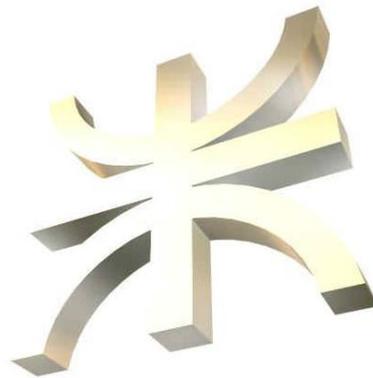
- Dimensional: PLANO: P-O-D-01 y P-O-D-02
- Esquemático: PLANO: P-O-E-01 y P-O-E-02

## Diagramas unifilares de potencia

- PLANO: P-O-E-03 y P-O-E-04

APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO Y MEJORAS  
AMBIENTALES EN PLANTA  
FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



INGENIERÍA DE  
DETALLES

## ÍNDICE

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN.....  | 2  |
| 1.     | Alcances:.....   | 2  |
| 1.1.1. | Diseño y planos de fabricación de equipos críticos: .....  | 2  |
| 1.1.2. | Cálculo y/o selección general de equipos auxiliares: ..... | 2  |
| 2.     | SISTEMA DE CODIFICACIÓN DE PIEZAS .....                    | 2  |
| 3.     | INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS.....                       | 3  |
| 3.1    | Detalles constructivos del equipo .....                    | 3  |
| 3.2.   | Selección de accesorios .....                              | 6  |
| 4.     | CIRCUITOS DE CALEFACCIÓN.....                              | 7  |
| 4.1.   | Circuito agua efluente o de faena (CE-P-01).....           | 8  |
| 4.2.   | Circuito de enfriamiento .....                             | 10 |
| 4.2.1. | Circuito de acucondensador de vísceras (CE-P-02) .....     | 10 |
| 4.2.2. | Circuito de acucondensador de plumas (CE-P-03).....        | 12 |
| 4.2.3. | Circuito de salida de torre de enfriamiento (CE-P-04)..... | 13 |
| 4.3.   | Selección de cañerías y accesorios .....                   | 15 |
| 4.3.1. | Circuito de agua de efluente o de faena .....              | 15 |
| 4.3.2. | Circuito de enfriamiento.....                              | 16 |
| 5.     | PLANTA EXTRACCIÓN DE BIOGÁS.....                           | 18 |
| 5.1.   | Selección de equipos.....                                  | 18 |
| 5.2.   | Selección de cañerías y accesorios .....                   | 20 |
| 6.     | RECIRCULACIÓN DEL BIODIGESTOR .....                        | 22 |
| 6.1.   | Selección de equipo de bombeo (RB-P-05).....               | 22 |
| 6.2.   | Selección de cañerías y accesorios .....                   | 24 |
| 7.     | RECUBRIMIENTO (RB-G-01) .....                              | 25 |
| 8.     | PILETA DE ENFRIAMIENTO (CE-TK-01).....                     | 25 |
| 9.     | TORRE DE ENFRIAMIENTO (CE-T-01).....                       | 26 |
| 10.    | RESULTADOS DE CÁLCULOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS .....      | 27 |
| 11.    | PLANOS .....   | 28 |
| 11.1.  | Codificación De Planos .....                               | 28 |
| 11.2.  | Listado de Planos .....                                    | 28 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Se desarrollará la ingeniería de detalles sobre los equipos críticos del proceso, si bien la tecnología existente de los mismos es conocida y tiene un nivel de desarrollo más que suficiente, se hará hincapié en los mismos para tener un mejor conocimiento.

- Plano esquemático: PLANO P-O-E-05
- Plano dimensional: PLANO P-O-D-01

### 1. Alcances:

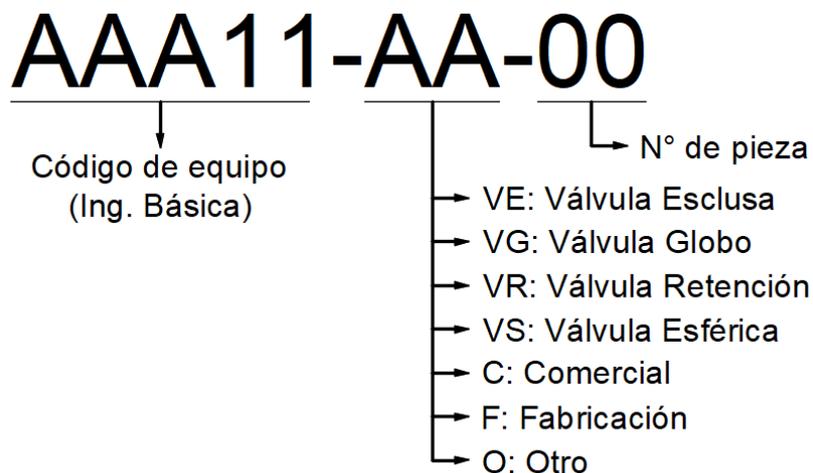
#### 1.1.1. Diseño y planos de fabricación de equipos críticos:

- Intercambiador de calor de casco y tubos.

#### 1.1.2. Cálculo y/o selección general de equipos auxiliares:

- Biodigestor.
- Planta de extracción y acondicionamiento de gas.
- Pileta de enfriamiento.
- Tendido eléctrico.
- Tendido hidráulico.

## 2. SISTEMA DE CODIFICACIÓN DE PIEZAS



### 3. INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS

Para una mejor interpretación de la construcción del equipo, se adjuntan los siguientes planos:

- Esquemático: PLANO P-CE-E-01 y P-CE-E-02
- Constructivo: PLANO P-CE-C-01
- Dimensional: PLANO P-CE-D-01

#### 3.1 Detalles constructivos del equipo

##### 3.1.1 Tubos

Se seleccionan tubos de  $1\frac{1}{2}$ ", los mismos quedan distribuidos en un arreglo triangular con una separación entre tubos de 60mm.

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                                     | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|---|--|--------------|
| 80       | Acero inoxidable (AISI 304) | Marca: Dessol (Schedule 10 – $1\frac{1}{2}$ " ) | $D_e = 48,3\text{ mm}$<br>$e = 2,77\text{ mm}$<br>$l = 6000\text{ mm}$ | CE-E-01-C-01 |

Para detalles de cálculos ver "Sección 2.3. de Memorias de Cálculos".

##### 3.1.2 Carcasa

La carcasa será construida a partir de chapas cilindradas con las siguientes características:

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN          | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|----------------------|--|--------------|
| 1        | Acero inoxidable (AISI 304) | Laminado en caliente | $e = 7,9\text{ mm}$<br>$D = 620\text{ mm}$<br>$l = 6000\text{ mm}$ | CE-E-01-F-01 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-02

Para detalles de cálculos ver "Sección 2.5. de Memorias de Cálculos"

### 3.1.3 Cabezales

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                             | MEDIDAS                                      | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|---|--|--------------|
| 1        | Acero inoxidable (AISI 304) | Extremos del intercambiador (con bocas) | $D = 800 \text{ mm}$<br>$l = 330 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-02 |
| 1        | Acero inoxidable (AISI 304) | Extremos del intercambiador (sin bocas) | $D = 800 \text{ mm}$<br>$l = 330 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-03 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-03

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.4 Tapas

Las mismas serán construidas de chapas con las siguientes características:

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN  | MEDIDAS                                     | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|--------------|---|--------------|
| 2        | Acero inoxidable (AISI 304) | Tapas planas | $e = 15 \text{ mm}$<br>$D = 800 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-04 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-06

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.5 Placas portatubos

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN     | MEDIDAS                                       | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|-----------------|---|--------------|
| 2        | Acero inoxidable (AISI 304) | Placa perforada | $e = 38,1 \text{ mm}$<br>$D = 800 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-05 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-04

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.6 Deflectores o baffles

Estos serán construidos de chapas con las siguientes características:

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                           | MEDIDAS                                    | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|---------------------------------------|--|--------------|
| 28       | Acero inoxidable (AISI 304) | Circunferencia con corte longitudinal | $e = 5 \text{ mm}$<br>$D = 620 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-06 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-05

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.7 Barras separadoras

| CANTIDAD                              | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                                 | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|---------------------------------------|-----------------------------|---|--|--------------|
| <b>Barras</b><br>5                    | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b> Dessol                        | $D = 10 \text{ mm}$  | CE-E-01-F-07 |
| <b>Tubos entre deflectores</b><br>145 | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b> Dessol (Schedule 10 – 1 1/2") | $D_e = 48,3 \text{ mm}$<br>$e = 2,77 \text{ mm}$<br>$l = 195 \text{ mm}$ | CE-E-01-C-01 |
| <b>Tubos de extremos</b><br>10        | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b> Dessol (Schedule 10 – 1 1/2") | $D_e = 48,3 \text{ mm}$<br>$e = 2,77 \text{ mm}$<br>$l = 259 \text{ mm}$ | CE-E-01-C-01 |

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.8 Bocas de entrada y salida

Estas se dividen en las bocas en la carcasa (Agua caliente) y las bocas en el cabezal (Agua de efluente), las cuales tienen las siguientes características:

| CANTIDAD                               | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                             | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|--|-----------------------------|---|--|--------------|
| <b>Bocas en carcasa</b><br>2<br>(Tubo) | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b> Dessol (Schedule 10 – 5") | $e = 6,8 \text{ mm}$<br>$D = 141,3 \text{ mm}$<br>$l = 135 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-08 |
| <b>Bocas en cabezal</b><br>2<br>(Codo) | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Codo a 45°</b><br>6"                 | $e = 6,8 \text{ mm}$<br>$D = 168,3 \text{ mm}$<br>$l = \text{mm}$      | CE-E-01-F-09 |

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.3. de Memorias de Cálculos”

### 3.1.9 Soportes

Estos son los encargados de soportar el intercambiador, tienen las siguientes características:

| CANTIDAD | MATERIAL         | DESCRIPCIÓN           | MEDIDAS   | CÓDIGO       |
|----------|------------------|-----------------------|---|--------------|
| 2        | Acero al carbono | Soporte de estructura | $e = 7,9\text{ mm}$<br>$a = 570\text{ mm}$<br>$l = 660\text{ mm}$ | CE-E-01-F-10 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-02

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.3. de Memorias de Cálculos”

## 3.2. Selección de accesorios

### 3.2.1 Bridas de bocas

| CANTIDAD                 | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN   | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|--------------------------|-----------------------------|---|--|--------------|
| En bocas de carcasa<br>2 | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b><br>FRANCOVIGH<br><b>Tipo:</b> Deslizante (Serie 150 - 5”) | $e = 22,3\text{ mm}$<br>$De = 255\text{ mm}$<br>$Dn = 141,3$ | CE-E-01-F-11 |
| En bocas de cabezal<br>2 | Acero inoxidable (AISI 304) | <b>Marca:</b><br>FRANCOVIGH<br><b>Tipo:</b> Deslizante (Serie 150 - 6”) | $e = 25,4\text{ mm}$<br>$De = 280\text{ mm}$<br>$Dn = 168,3$ | CE-E-01-F-12 |

### 3.2.2 Placas de apoyo

| CANTIDAD | MATERIAL                    | DESCRIPCIÓN                             | MEDIDAS   | CÓDIGO       |
|----------|-----------------------------|---|---|--------------|
| 2        | Acero inoxidable (AISI 304) | Unión de apoyo entre carcasa y soportes | $e = 7,9\text{ mm}$<br>$a = 350\text{ mm}$<br>$l = 775\text{ mm}$ | CE-E-01-F-13 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-02

Para detalles de cálculos ver “Sección 2.5. de Memorias de Cálculos”

### 3.2.3 Bulonería

La unión de la carcasa con los cabezales y las tapas, se hará mediante bulones con las siguientes características.

| CANTIDAD | MATERIAL          | DESCRIPCIÓN  | MEDIDAS  | CÓDIGO       |
|----------|-------------------|--|--|--------------|
| 68       | Acero SAE Grado 5 | Bulón cabeza hexagonal (Unión entre carcasa y cabezal) | $\frac{1}{2} \times 3''$<br>$l = 76 \text{ mm}$<br>$D = 12 \text{ mm}$ | CE-E-01-O-01 |
| 68       | Acero SAE Grado 5 | Bulón cabeza hexagonal (Unión entre cabezal y tapa)    | $\frac{1}{2} \times 2''$<br>$l = 50 \text{ mm}$<br>$D = 12 \text{ mm}$ | CE-E-01-O-02 |
| 136      | Acero SAE Grado 5 | Tuerca cabeza hexagonal                                | $\frac{1}{2}''$  | CE-E-01-O-03 |
| 136      | Acero             | Arandela Grower  | $\frac{1}{2}''$  | CE-E-01-O-04 |

### 3.2.4 Juntas

Para lograr la estanqueidad del equipo se utilizarán juntas para unir los cabezales a las tapas y placas portatubos.

| CANTIDAD | MATERIAL             | DESCRIPCIÓN   | MEDIDAS   | CÓDIGO       |
|----------|----------------------|---|---|--------------|
| 4        | Fibras orgánicas/NBR | Hoja para juntas<br><b>Marca:</b> TESNIT<br><b>Tipo:</b> BA-202 | $e = 0,5 \text{ mm}$<br>$a = 1,52 \text{ m}$<br>$l = 1,52 \text{ mm}$ | CE-E-01-F-14 |

- Plano dimensional: PLANO P-CE-D-08

## 4. CIRCUITOS DE CALEFACCIÓN

### Selección de equipos de bombeo

A pesar de que en los cálculos de los circuitos de bombeo se utilizaron codos para los cambios de dirección, se propone realizar la instalación sin utilizar los mismo, dejando la elección a criterio de la empresa. La propuesta se debe a que las tuberías seleccionadas de PEAD poseen una mayor maleabilidad en cuanto a las de acero y sólo se necesitaría ampliar la curvatura en los cambios de dirección. Esto produce una reducción en la pérdida de carga del sistema y de la misma manera en el presupuesto de los materiales.

- Plano esquemático: PLANO P-CE-E-05

Se procede a realizar la selección de los equipos de bombeo, los mismos serán bombas monobloc de aspiración axial.

|  |                       |         |                |
|--|-----------------------|---------|----------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó: GP – 13/12/19 | Aprobó: | Página 7 de 29 |
|--|-----------------------|---------|----------------|



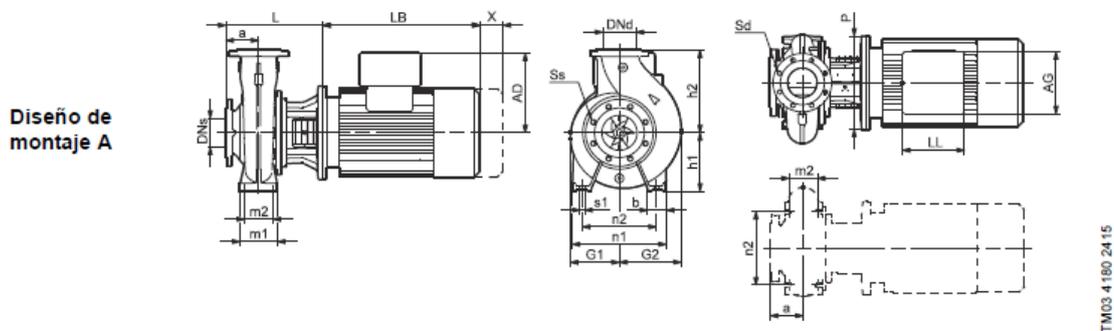
#### 4.1. Circuito agua efluente o de faena (CE-P-01)

Esta bomba será la encargada de bombear el agua desde el DAF pasando por el intercambiador de casco y tubos hasta ingresar al biodigestor. (Para detalles de cálculos ver “Sección 5.1. de Memorias de Cálculos”).

- Plano esquemático: PLANO P-CE-E-02 y P-CE-C-02

La bomba seleccionada es de la empresa GRUNDFOS que posee las siguientes características:

#### Planos dimensionales, NB



| Tamaño de la bomba<br>Poles<br>P2 [kW] | Tamaño real del impulsor | Diseño de montaje | Bridas |         | Dimensiones, NB [mm] |      |      |      |      |                 |                 |         |         |         |     |     |     |     |     |     |     |     |         |                 |                 |         |         |     |     |     |     |                |
|--|--------------------------|-------------------|--------|---------|----------------------|------|------|------|------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----------------|-----------------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|----------------|
|  |                          |                   | PN     | DNs     | DNd                  | Ss   | Sd   | a    | A    | AD <sup>1</sup> | AG <sup>1</sup> | b       | B       | C       | h1  | h2  | H   | G1  | G2  | K   | L   | CI  | SS      | LB <sup>1</sup> | LL <sup>1</sup> | m1      | m2      | n1  | n2  | P   | s1  | X <sup>2</sup> |
|  |                          |                   | 11     | 147-127 | B                    | 16   | 100  | 80   | 8x19 | 8x19            | 125             | 254     | 204/237 | 243/420 | -   | 210 | 108 | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15      | 368             | 368             | 471/408 | 213/317 | -   | -   | -   | -   | 350            |
| 15                                     | 151                      | B                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | 254  | 204/308         | 243/420         | -       | 210     | 108     | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15  | 368 | 368 | 471/471 | 213/400         | -               | -       | -       | -   | 350 | -   | 140 |                |
| 2                                      | 18,5                     | 181               | B      | 16      | 100                  | 80   | 8x19 | 8x19 | 125  | 254             | 204/308         | 243/420 | -       | 254     | 108 | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15  | 368 | 368     | 515/515         | 213/400         | -       | -       | -   | -   | 350 | -   | 140            |
| 22                                     | 187                      | B                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | 279  | 204/308         | 243/420         | -       | 241     | 121     | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15  | 368 | 368 | 541/541 | 213/400         | -               | -       | -       | -   | 350 | -   | 140 |                |
| 30                                     | 177                      | B                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | 318  | 315/-           | 265/-           | -       | 305     | 133     | -   | 225 | 200 | 139 | 182 | 19  | 368 | 368 | 611/-   | 197/-           | -               | -       | -       | -   | 400 | -   | 140 |                |
| 1,5                                    | 146                      | A                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | -    | 110/158         | 162/177         | 65      | -       | -       | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -   | 271 | 298 | 321/274 | 103/232         | 125             | 95      | 320     | 250 | 200 | 12  | 140 |                |
| 2,2                                    | 161                      | A                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | -    | 120/201         | 162/222         | 65      | -       | -       | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -   | 299 | 318 | 335/334 | 103/280         | 125             | 95      | 320     | 250 | 250 | 12  | 140 |                |
| 4                                      | 175                      | A                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | -    | 120/201         | 162/222         | 65      | -       | -       | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -   | 299 | 318 | 335/334 | 103/280         | 125             | 95      | 320     | 250 | 250 | 12  | 140 |                |
| 4                                      | 177                      | A                 | 16     | 100     | 80                   | 8x19 | 8x19 | 125  | -    | 134/201         | 202/208         | 65      | -       | -       | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -   | 299 | 318 | 372/334 | 103/280         | 125             | 95      | 320     | 250 | 250 | 12  | 140 |                |

| CARACTERÍSTICAS     |                  |
|---------------------|------------------|
| MODELO              | NB 80-160        |
| DIÁMETRO DEL RODETE | 175 mm           |
| MATERIAL DEL RODETE | Acero Inoxidable |
| POTENCIA DE MOTOR   | 3 KW             |
| VELOCIDAD           | 1450 RPM (4P)    |

A continuación, se detalla el punto de trabajo a través de la Tabla B1.

**PUNTO DE TRABAJO**

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| CAUDAL             | 110 m <sup>3</sup> /h |
| ALTURA             | 7,3 m                 |
| RENDIMIENTO        | 82%                   |
| NPSH               | 2,2 m                 |
| POTENCIA ABSORBIDA | 2,7 KW                |

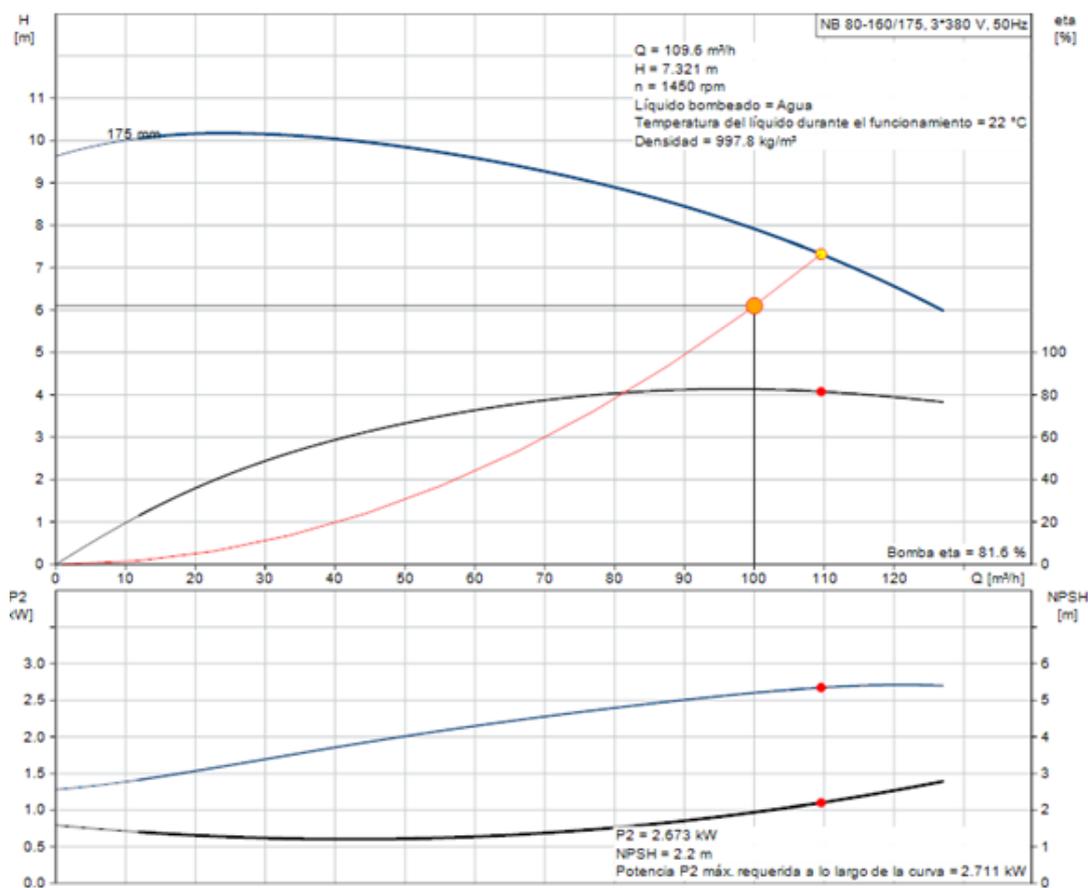


TABLA B1

## 4.2. Circuito de enfriamiento

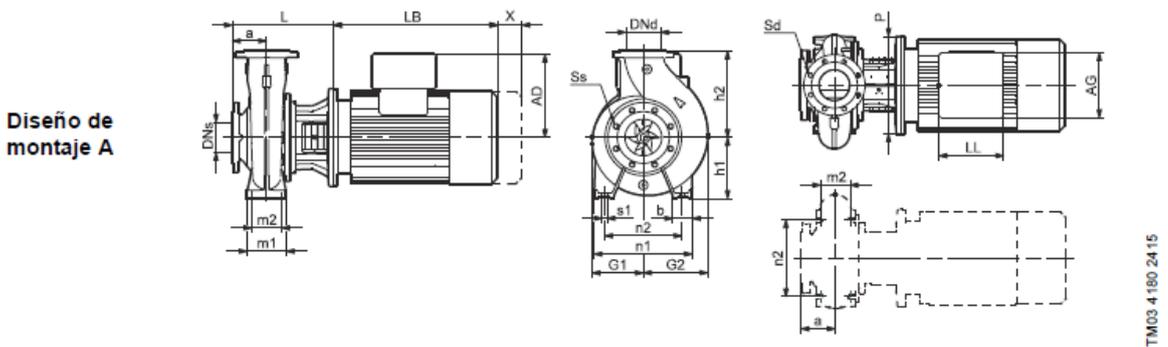
Este circuito posee dos bombas, como se explicó anteriormente una para cada acuocondensador, las cuales bombean agua desde el tanque de enfriamiento pasando por su respectivo acuocondensador y luego ingresando al intercambiador de casco y tubos hasta llegar a la torre de enfriamiento. (Para detalles de cálculos ver “Sección 5.2. de Memorias de Cálculos”)

- Plano esquemático: PLANO P-CE-E-04

### 4.2.1. Circuito de acuocondensador de vísceras (CE-P-02)

La bomba seleccionada en de la empresa GRUNDFOS que posee las siguientes características:

#### Planos dimensionales, NB



| Tamaño de la bomba<br>Polos<br>P2 [kW] | Tamaño real del impulsor<br>Diseño de montaje | Bridas |     | Dimensiones, NB [mm] |    |      |      |     |                 |                 |         |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |                 |                 |         |     |    |     |     |     |                |     |
|--|---|--------|-----|----------------------|----|------|------|-----|-----------------|-----------------|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----------------|-----------------|---------|-----|----|-----|-----|-----|----------------|-----|
|  |   | PN     | DNs | DNd                  | Ss | Sd   | a    | A   | AD <sup>1</sup> | AG <sup>1</sup> | b       | B  | C   | h1  | h2  | H   | G1  | G2  | K   | L  |     | LB <sup>1</sup> | LL <sup>1</sup> | m1      | m2  | n1 | n2  | P   | s1  | X <sup>2</sup> |     |
|  |   |        |     |                      |    |      |      |     |                 |                 |         |    |     |     |     |     |     |     |     | CI | SS  |                 |                 |         |     |    |     |     |     |                |     |
| 11                                     | 181   | B      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | 254             | 204/237         | 243/420 | -  | 210 | 108 | -   | 200 | 180 | 141 | 162 | 15 | 343 | 343             | 471/406         | 213/317 | -   | -  | -   | -   | 350 | -              | 100 |
| 15                                     | 198   | B      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | 254             | 204/308         | 243/420 | -  | 210 | 108 | -   | 200 | 180 | 141 | 162 | 15 | 343 | 343             | 471/471         | 213/400 | -   | -  | -   | -   | 350 | -              | 100 |
| 18,5                                   | 210   | B      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | 254             | 204/308         | 243/420 | -  | 254 | 108 | -   | 200 | 180 | 141 | 162 | 15 | 343 | 343             | 515/515         | 213/400 | -   | -  | -   | -   | 350 | -              | 100 |
| 22                                     | 219   | B      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | 279             | 204/308         | 243/420 | -  | 241 | 121 | -   | 200 | 180 | 141 | 162 | 15 | 343 | 343             | 541/541         | 213/400 | -   | -  | -   | -   | 350 | -              | 100 |
| 1,1                                    | 171   | A      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | -               | 106/181         | 166/181 | 50 | -   | -   | 180 | 200 | -   | 141 | 162 | -  | 246 | 273             | 234/274         | 131/260 | 100 | 70 | 265 | 212 | 200 | 12             | 100 |
| 1,5                                    | 188   | A      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | -               | 110/158         | 162/177 | 50 | -   | -   | 180 | 200 | -   | 141 | 162 | -  | 246 | 273             | 321/274         | 103/232 | 100 | 70 | 265 | 212 | 200 | 12             | 100 |
| 2,2                                    | 210   | A      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | -               | 120/201         | 162/222 | 50 | -   | -   | 180 | 200 | -   | 141 | 162 | -  | 274 | 293             | 335/334         | 103/280 | 100 | 70 | 265 | 212 | 250 | 12             | 100 |
| 3                                      | 219   | A      | 16  | 65                   | 50 | 4x19 | 4x19 | 100 | -               | 120/201         | 162/222 | 50 | -   | -   | 180 | 200 | -   | 141 | 162 | -  | 274 | 293             | 335/334         | 103/280 | 100 | 70 | 265 | 212 | 250 | 12             | 100 |

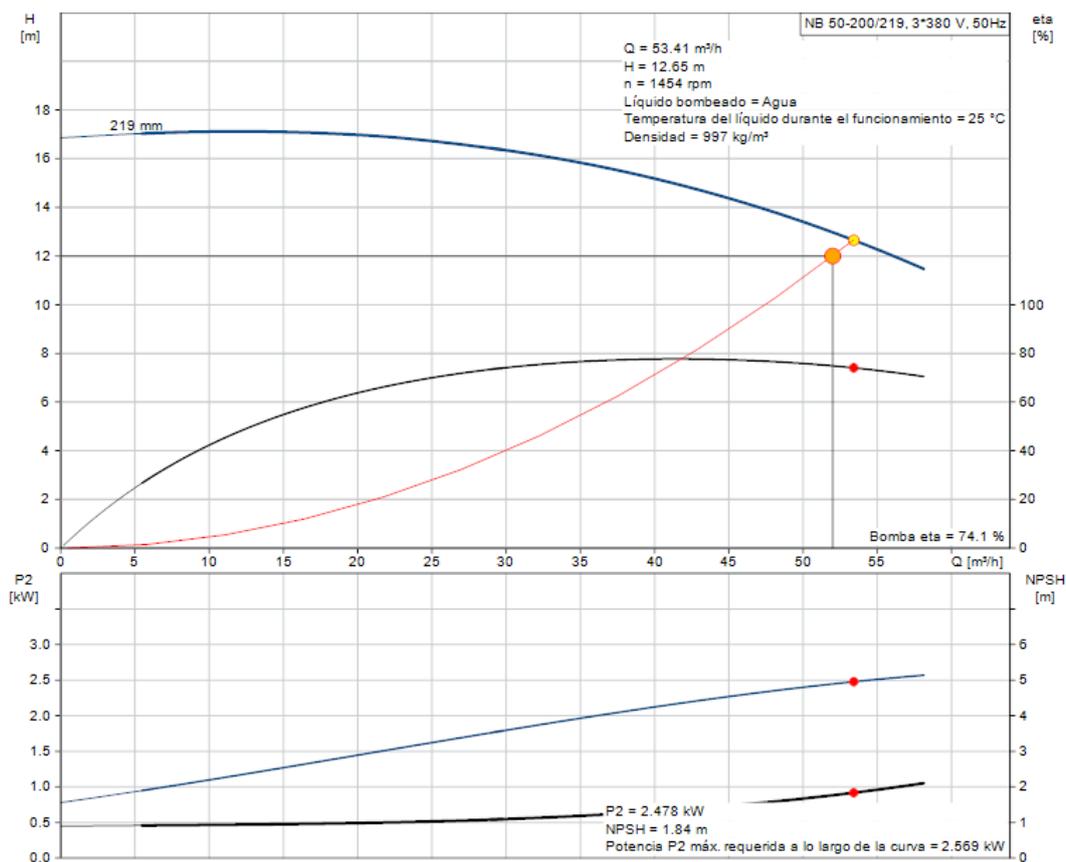
#### CARACTERÍSTICAS

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| MODELO              | NB 50-200     |
| DIÁMETRO DEL RODETE | 219 mm        |
| MATERIAL DEL RODETE | Fundición     |
| POTENCIA DE MOTOR   | 3 KW          |
| VELOCIDAD           | 1450 RPM (4P) |

A continuación, se detalla el punto de trabajo a través de la Tabla B2.

**PUNTO DE TRABAJO**

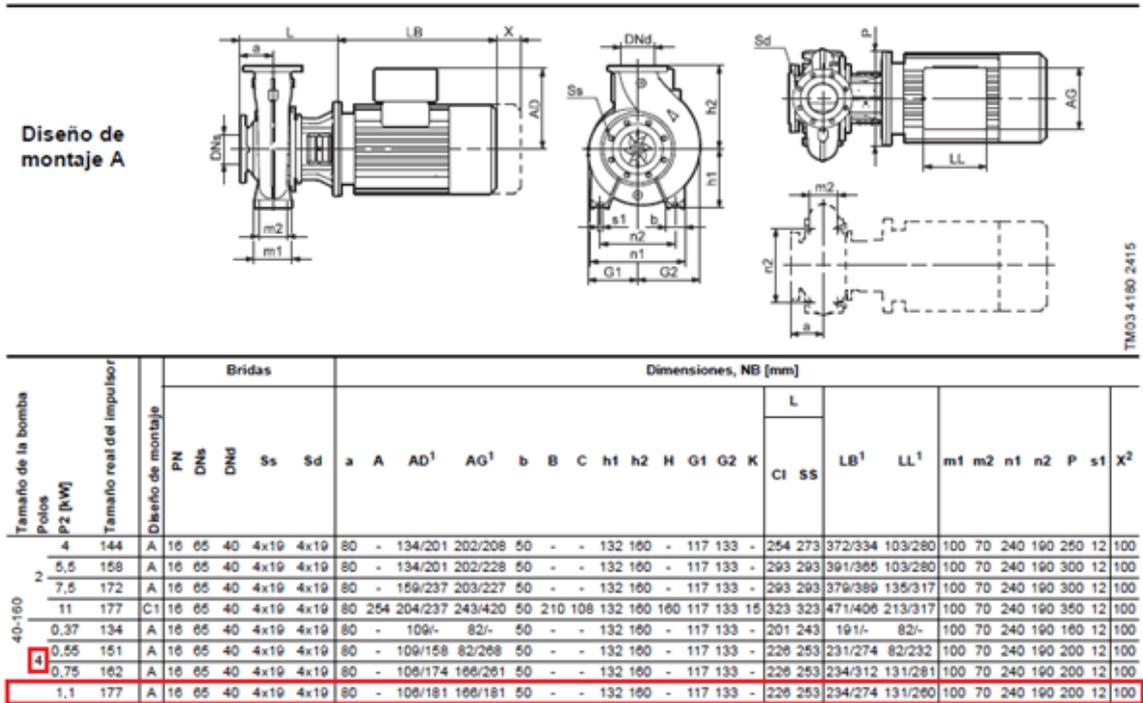
|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| <b>CAUDAL</b>             | 53,4 m <sup>3</sup> /h |
| <b>ALTURA</b>             | 12,65 m                |
| <b>RENDIMIENTO</b>        | 74 %                   |
| <b>NPSH</b>               | 1,8 m                  |
| <b>POTENCIA ABSORBIDA</b> | 2,5 KW                 |



#### 4.2.2. Circuito de acuocondensador de plumas (CE-P-03)

La bomba seleccionada en de la empresa GRUNDFOS que posee las siguientes características:

#### Planos dimensionales, NB



| CARACTERÍSTICAS     |               |
|---------------------|---------------|
| MODELO              | NB 40-160     |
| DIÁMETRO DEL RODETE | 177 mm        |
| MATERIAL DEL RODETE | Fundición     |
| POTENCIA DE MOTOR   | 1,1 KW        |
| VELOCIDAD           | 1450 RPM (4P) |

A continuación, se detalla el punto de trabajo a través de la Tabla B3.

| PUNTO DE TRABAJO   |                        |
|--------------------|------------------------|
| CAUDAL             | 18,7 m <sup>3</sup> /h |
| ALTURA             | 11 m                   |
| RENDIMIENTO        | 69 %                   |
| NPSH               | 1,12 m                 |
| POTENCIA ABSORBIDA | 0,8 KW                 |

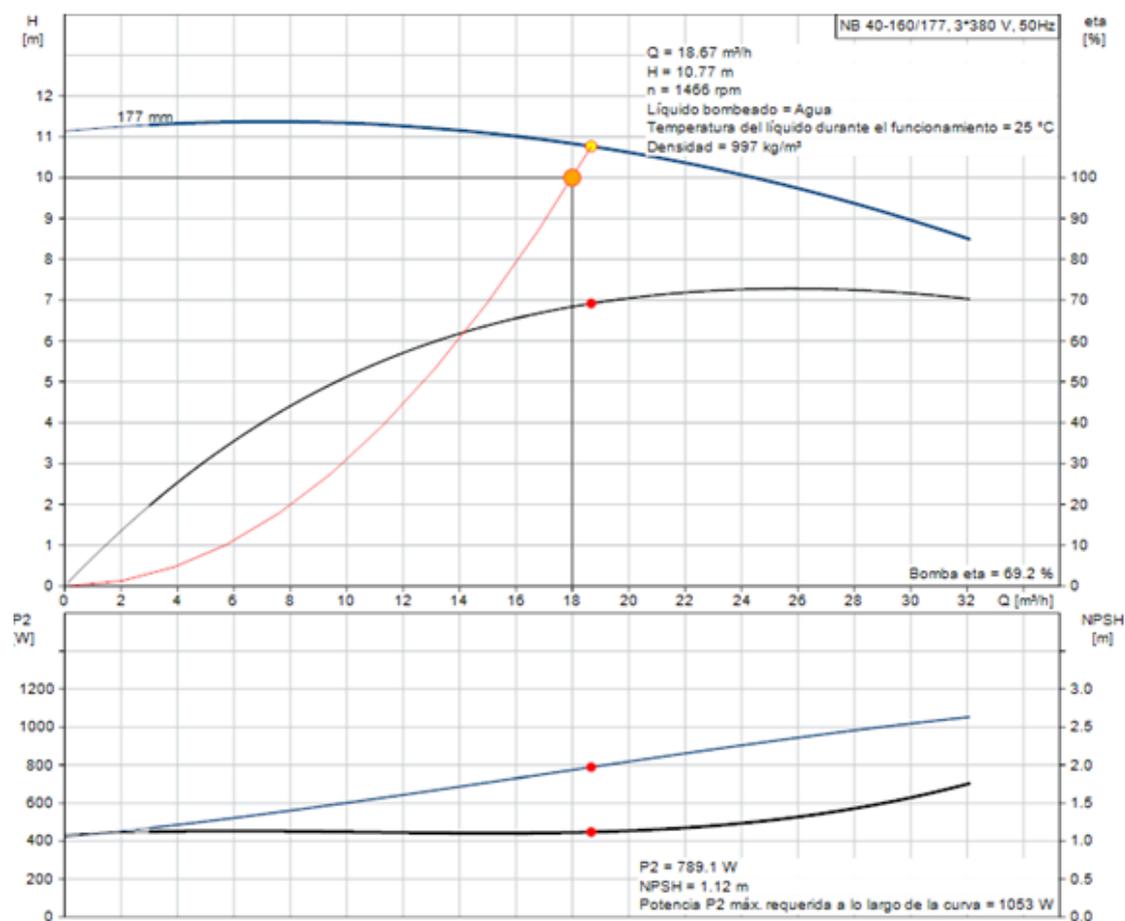


TABLA B3

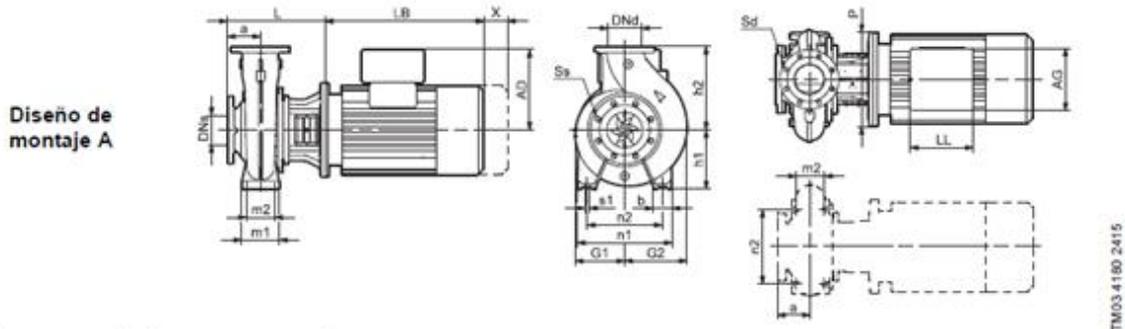
#### 4.2.3. Circuito de salida de torre de enfriamiento (CE-P-04)

Esta bomba será la encargada de bombear y controlar el nivel del depósito de la torre de enfriamiento, enviándola a la pileta de enfriamiento. La misma contará con un variador de velocidad para cumplir con el propósito de control de nivel.

- Plano esquemático: PLANO P-CE-E-03

La bomba seleccionada en de la empresa GRUNDFOS que posee las siguientes características:

**Planos dimensionales, NB**



| Tamaño de la bomba<br>Polos<br>P2 [kW] | Tamaño real del impulsor | Diseño de montaje | Bridas |     | Dimensiones, NB [mm] |      |                 |                 |     |         |         |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |         |         |     |                |     |                 |                 |     |     |
|--|--------------------------|-------------------|--------|-----|----------------------|------|-----------------|-----------------|-----|---------|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|---------|---------|-----|----------------|-----|-----------------|-----------------|-----|-----|
|  |                          |                   | PN     | DNs | a                    | A    | AD <sup>1</sup> | AG <sup>1</sup> | b   | B       | C       | h1 | h2  | H   | G1  | G2  | K   | L   |     | m1 | m2  | n1  | n2      | P       | s1  | X <sup>2</sup> |     |                 |                 |     |     |
|  |                          |                   | DNd    | Ss  |                      |      |                 |                 |     |         |         |    |     |     |     |     |     | Sd  | Cl  |    |     |     |         |         |     |                | Ss  | LB <sup>1</sup> | LL <sup>1</sup> |     |     |
| 11                                     | 147-127                  | B                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | 254 | 204/237 | 243/420 | -  | 210 | 108 | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15 | 368 | 368 | 471/406 | 213/317 | -   | -              | -   | 350             | -               | 140 |     |
| 15                                     | 151                      | B                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | 254 | 204/308 | 243/420 | -  | 210 | 108 | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15 | 368 | 368 | 471/471 | 213/400 | -   | -              | -   | 350             | -               | 140 |     |
| 18,5                                   | 161                      | B                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | 254 | 204/308 | 243/420 | -  | 254 | 108 | -   | 225 | 160 | 139 | 182 | 15 | 368 | 368 | 515/515 | 213/400 | -   | -              | -   | 350             | -               | 140 |     |
| 22                                     | 167                      | B                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | 279 | 204/308 | 243/420 | -  | 241 | 121 | -   | 225 | 180 | 139 | 182 | 15 | 368 | 368 | 541/541 | 213/400 | -   | -              | -   | 350             | -               | 140 |     |
| 30                                     | 177                      | B                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | 318 | 315/-   | 265/-   | -  | 305 | 133 | -   | 225 | 200 | 139 | 182 | 19 | 368 | 368 | 611/-   | 197/-   | -   | -              | -   | 400             | -               | 140 |     |
| 1,5                                    | 148                      | A                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | -   | 110/158 | 162/177 | 65 | -   | -   | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -  | 271 | 298 | 321/274 | 103/232 | 125 | 95             | 320 | 250             | 200             | 12  | 140 |
| 2,2                                    | 161                      | A                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | -   | 120/201 | 162/222 | 65 | -   | -   | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -  | 299 | 318 | 335/334 | 103/280 | 125 | 95             | 320 | 250             | 250             | 12  | 140 |
| 3                                      | 175                      | A                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | -   | 120/201 | 162/222 | 65 | -   | -   | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -  | 299 | 318 | 335/334 | 103/280 | 125 | 95             | 320 | 250             | 250             | 12  | 140 |
| 4                                      | 177                      | A                 | 16     | 100 | 80                   | 8x19 | 8x19            | 125             | -   | 134/201 | 202/208 | 65 | -   | -   | 180 | 225 | -   | 139 | 182 | -  | 299 | 318 | 372/334 | 103/280 | 125 | 95             | 320 | 250             | 250             | 12  | 140 |

**CARACTERÍSTICAS**

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| <b>MODELO</b>              | NB 80-160                     |
| <b>DIÁMETRO DEL RODETE</b> | 161 mm                        |
| <b>MATERIAL DEL RODETE</b> | Fundición                     |
| <b>POTENCIA DE MOTOR</b>   | 2,2 KW                        |
| <b>VELOCIDAD</b>           | 85% (42,4 Hz) - 1246 RPM (4P) |

A continuación, se detalla el punto de trabajo a través de la Tabla B4.

**PUNTO DE TRABAJO**

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| <b>CAUDAL</b>             | 70 m <sup>3</sup> /h |
| <b>ALTURA</b>             | 5 m                  |
| <b>RENDIMIENTO</b>        | 79 %                 |
| <b>NPSH</b>               | 1,2 m                |
| <b>POTENCIA ABSORBIDA</b> | 1,5 KW               |

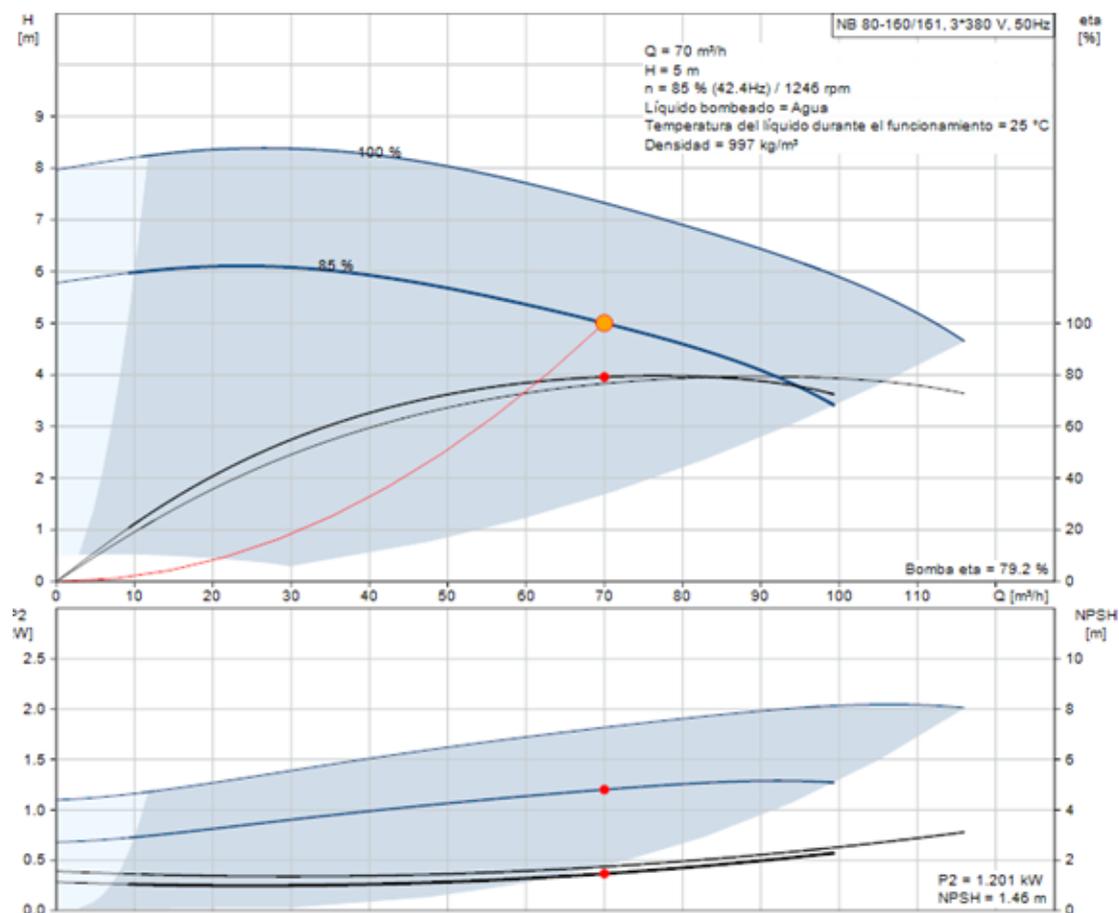


TABLA B4

### 4.3. Selección de cañerías y accesorios

En este punto se seleccionará las cañerías y accesorios necesarios para el funcionamiento de los circuitos.

#### 4.3.1. Circuito de agua de efluente o de faena

| COMPONENTE              | CANT.   | MATERIAL   | DESCRIPCIÓN                                       | CÓDIGO      |
|-------------------------|---------|--|---|-------------|
| Tubería de bypass       | 0 mts   | Acero al carbono   | Disponible ya en planta<br>$\phi = 8''$           | TA-03       |
| Tubería de aspiración   | 75 mts  | Polietileno PN 80  | Marca: Aldyl<br>$\phi = 200mm$ ;<br>$e = 7,7mm$   | TA-01       |
| Tubería de impulsión    | 130 mts | Polietileno PN 80  | Marca: Aldyl<br>$\phi = 160mm$ ;<br>$e = 6,2mm$   | TA-02       |
| Válvula esclusa bridada | 1       | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b> Acero inoxidable | Marca: Genebre<br>Modelo: 2102-16<br>$\phi = 8''$ | TA-01-VE-01 |

|   |   |  |   |             |
|---|---|--|---|-------------|
| Válvula globo<br>bridada                          | 1 | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b><br>Acero inoxidable          | Marca: Genebre<br>Modelo:2231-14<br>Ø = 6"  | TA-02-VG-01 |
| Unión Tee<br>bridada                              | 1 | Acero<br>al carbono  | Ø = 8"                                      | TA-03-F-01  |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida | 3 | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno<br>PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 200mm                   | TA-01-O-01  |
| Cono de<br>reducción<br>bridado                   | 1 | Fundición  | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 200mm<br>Ø2 = 100mm | TA-01-O-02  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 9 | Polietileno<br>PN 80   | Marca: Aldyl<br>Ø = 200mm                   | TA-01-O-03  |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida | 5 | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno<br>PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm                   | TA-02-O-01  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 5 | Polietileno<br>PN 80   | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm                   | TA-02-O-02  |
| Cono de<br>reducción<br>bridado                   | 1 | Fundición  | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 160mm<br>Ø2 = 80mm  | TA-02-O-03  |

#### 4.3.2. Circuito de enfriamiento

| COMPONENTE   | CANT.  | MATERIAL  | DESCRIPCIÓN                                 | CÓDIGO      |
|--|--------|---|---|-------------|
| Tubería de<br>aspiración                           | 15 mts | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm;<br>e = 6,2mm     | TA-02       |
| Tubería de<br>impulsión                            | 5 mts  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm;<br>e = 4,8mm     | TA-04       |
| Tubería de<br>aspiración e<br>Impulsión            | 20 mts | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm;<br>e = 3,5mm      | TA-05       |
| Tubería de<br>entrada y salida<br>(Intercambiador) | 20 mts | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm;<br>e = 4,8mm     | TA-04       |
| Tubería de<br>aspiración                           | 5 mts  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm;<br>e = 6,2mm     | TA-02       |
| Tubería de<br>impulsión                            | 10 mts | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm;<br>e = 4,8mm     | TA-04       |
| Válvula esclusa<br>bridada                         | 1      | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b><br>Acero inoxidable       | Marca: Genebre<br>Modelo: 2102-14<br>Ø = 6" | TA-02-VE-01 |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida  | 3      | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm                   | TA-02-O-01  |

|   |    |   |   |             |
|---|----|---|---|-------------|
| Cono de reducción<br>bridado                      | 1  | Fundición   | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 160mm<br>Ø2 = 65mm  | TA-02-O-04  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 7  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 160mm                   | TA-02-O-02  |
| Válvula globo<br>bridada                          | 4  | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b><br>Acero inoxidable       | Marca: Genebre<br>Modelo: 2231-13<br>Ø = 5" | TA-04-VG-01 |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida | 14 | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm                   | TA-04-O-01  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 17 | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm                   | TA-04-O-02  |
| Cono de<br>reducción<br>bridado                   | 1  | Fundición   | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 125mm<br>Ø2 = 50mm  | TA-04-O-03  |
| Válvula esclusa<br>bridada                        | 1  | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b><br>Acero inoxidable       | Marca: Genebre<br>Modelo: 2102-12<br>Ø = 4" | TA-05-VE-01 |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida | 3  | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm                    | TA-05-O-01  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 3  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm                    | TA-05-O-02  |
| Cono de<br>reducción<br>bridado                   | 1  | Fundición   | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 90mm<br>Ø2 = 65mm   | TA-05-O-03  |
| Válvula globo<br>bridada                          | 1  | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b><br>Acero inoxidable       | Marca: Genebre<br>Modelo: 2231-12<br>Ø = 4" | TA-05-VG-01 |
| Adaptador de<br>brida<br>electrofusión &<br>brida | 5  | <b>Adaptador:</b><br>Polietileno PN 80<br><b>Brida:</b> Acero ANSI<br>B16.5 | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm                    | TA-05-O-01  |
| Cupla<br>electrofusión                            | 6  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm                    | TA-05-O-02  |
| Cono de<br>reducción<br>bridado                   | 1  | Fundición   | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 90mm<br>Ø2 = 40mm   | TA-05-O-04  |
| Unión Tee<br>electrofusión                        | 3  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm                   | TA-04-O-04  |
| Reducción espiga<br>electrofusión                 | 1  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø1 = 125mm<br>Ø2 = 90mm     | TA-04-O-05  |
| Cupla<br>electrofusión<br>(adaptación a<br>Tee)   | 1  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 90mm                    | TA-05-O-02  |
| Cupla<br>electrofusión<br>(adaptación a<br>Tee)   | 1  | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 125mm                   | TA-04-O-02  |

|  |   |  |   |             |
|--|---|--|---|-------------|
| Válvula esclusa (aspiración torre) bridada | 1 | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Pasador y Fuelle:</b> Acero inoxidable | Marca: Genebre<br>Modelo: 2102-14<br>$\phi = 6''$                   | TA-02-VE-01 |
| Cono de reducción bridado                  | 1 | Fundición  | Marca: Pradinsa<br>$\phi 1 = 160mm$<br>$\phi 2 = 100mm$             | TA-02-O-05  |
| Cono de reducción bridado                  | 1 | Fundición  | Marca: Pradinsa<br>$\phi 1 = 125mm$<br>$\phi 2 = 80mm$              | TA-04-O-06  |
| Variador de frecuencia                     | 1 | ---  | Marca: WEG<br>Modelo:<br>mscfw080065t3848<br>s0a1Z<br>Potencia: 3Hp | P-04-C-01   |

## 5. PLANTA EXTRACCIÓN DE BIOGÁS

Para una mejor interpretación de la construcción de la planta, se adjuntan los siguientes planos:

- Dimensional: PLANO P-EB-D-01 y P-EB-D-02
- Esquemático: PLANO P-EB-E-01 y P-O-E-05
- Constructivo: PLANO P-EB-C-01 y P-EB-C-02

### 5.1. Selección de equipos

Con el caudal de extracción de la planta se procede a la selección de los equipos de extracción y acondicionamiento de biogás. (Para detalles de cálculos ver "Sección 7 de Memorias de Cálculos")

#### 5.1.1. Deshidratador (EB-FH-01)

Se selecciona un deshidratador de la marca PUXIN construido totalmente en acero inoxidable con las siguientes características:

- **MODELO:** PXDH-1000L
- **DIMENSIONES:**  $1100 \times 1920 \text{ mm}$  [ $\phi \times H$ ]
- **CONEXIÓN:** Rosca macho 3"



### 5.1.2. *Desulfurizador (EB-FS-01)*

Se selecciona un desulfurizador de la marca PUXIN construido totalmente en acero inoxidable con las siguientes características:

- **MODELO:** PXDS-1000L
- **DIMENSIONES:** 1100 × 1985 mm [ $\phi \times H$ ]
- **PESO BRUTO:** 1000 Kg
- **CONEXIÓN:** Rosca macho 3"



### 5.1.3. *Caudalímetro (EB-C-01)*

Se selecciona un medidor de caudal ultrasónico de la marca PUXIN con las siguientes características:

- **MODELO:** BF-3000D
- **RANGO DE MEDICIÓN:** 20 – 400 m<sup>3</sup>/h
- **RANGO DE MEDICIÓN DE CH4:** 30 – 100%
- **RANGO DE MEDICIÓN DE TEMP.:** -20 a 60 °C
- **RANGO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN:** 0 – 100 KPa
- **PRESIÓN DE TRABAJO:** hasta 1,6 MPa
- **CONEXIÓN:** Brida DN 100



### 5.1.4. *Soplador (EB-S-01)*

Se selecciona una bomba para biogás de la marca PUXIN con las siguientes características:

- **MODELO:** DFL125
- **POTENCIA:** 5,5 KW (380 V)
- **CAUDAL:** 500 m<sup>3</sup>/h
- **MÁX. PRESIÓN DE SALIDA:** 100 KPa
- **CONEXIÓN:** Brida DN 100



### 5.1.5. Antorcha (EB-AN-01)

Se seleccionará una antorcha de llama abierta de la Marca EMISON construida totalmente en acero inoxidable con las siguientes características:

- **MODELO:** LA 100
- **CAUDAL:** 50-125 m<sup>3</sup>/h
- **CUERPO:** 325 × 500 [Ø \* H mm]



### 5.1.6. Arrestallama (EB-AL-01)

Se selecciona un arrestallama de la marca PROTECTOSEAL con las siguientes características:

- **MODELO:** C25000
- **TAMAÑO DE BRIDA:** 3"
- **CARCASA:** Acero
- **LÁMINA ENROLLADA:** Acero inoxidable



## 5.2. Selección de cañerías y accesorios

| COMPONENTE                     | CANT.     | DIÁM.        | MATERIAL            | FABRICANTE   | CÓDIGO | CÓDIGO COMERCIAL |
|--------------------------------|-----------|--------------|---------------------|--------------|--------|------------------|
| <b>TUBERÍAS</b>                |           |              |                     |              |        |                  |
| Tubería de aspiración          | 20 mts    | 125 mm SDR11 | Polietileno PN 80   | Aldyl        | TG-01  | ---              |
| Tubería de conexión de equipos | 5 x 4 mts | 90 mm SDR11  | Polipropileno PN 12 | Acqua System | TG-02  | ---              |
| Tubería de impulsión           | 35 mts    | 90 mm SDR11  | Polietileno PN 80   | Aldyl        | TG-03  | ---              |
| Tubería antorcha               | 12 mts    | 50 mm SDR11  | Polietileno PN 80   | Aldyl        | TG-04  | ---              |

| ACCESORIOS                               |    |             |                        |              |             |             |
|--|----|-------------|------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Válvula esférica termofusión             | 7  | 90 mm       | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-VS-01 | 08163090000 |
| Válvula esférica roscada                 | 2  | ½"          | Acero                  | Beyca        | TG-02-VS-02 | VE-01       |
| Codo a 90° termofusión                   | 11 | 90 mm       | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-01  | 08090090090 |
| Codo a 45° termofusión                   | 2  | 90 mm       | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-02  | 08090045090 |
| Te normal termofusión                    | 4  | 90 mm       | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-03  | 08130090000 |
| Te de reducción central termofusión      | 2  | 90 x 63 mm  | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-04  | 08133090063 |
| Tubo hembra termofusión                  | 4  | 90 mm x 3"  | Polipropileno<br>Acero | Acqua System | TG-02-C-05  | 08271090075 |
| Tubo macho con enchufe macho termofusión | 2  | 20 mm x ½"  | Polipropileno<br>Acero | Acqua System | TG-02-C-06  | 08274020015 |
| Buje de reducción termofusión            | 2  | 63 x 40 mm  | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-07  | 08241063040 |
| Buje de reducción termofusión            | 2  | 40 x 25 mm  | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-08  | 08241040032 |
| Adaptador de brida termofusión           | 4  | 90 mm       | Polipropileno          | Acqua System | TG-02-C-09  | 08321075000 |
| Brida                                    | 4  | DN 100      | Acero                  | ---          | TG-02-F-01  | ---         |
| Brida                                    | 2  | 3"          | Acero                  | ---          | TG-02-F-02  | ---         |
| Reducción electrofusión                  | 1  | 125 x 90 mm | Polietileno            | Aldyl        | TG-01-O-01  | ---         |
| Cupla electrofusión                      | 1  | 125 mm      | Polietileno            | Aldyl        | TG-01-O-02  | ---         |
| Cupla electrofusión                      | 4  | 90 mm       | Polietileno            | Aldyl        | TG-03-O-02  | ---         |
| Te electrofusión                         | 1  | 90 mm       | Polietileno            | Aldyl        | TG-03-O-03  | ---         |
| Reducción electrofusión                  | 1  | 90 x 50 mm  | Polietileno            | Aldyl        | TG-04-O-04  | ---         |
| Buje de reducción roscado                | 2  | ½ x 1/4"    | Acero                  | Acqua System | TG-02-C-10  | 01241015008 |
| Vacuómetro conexión roscada ¼"           | 1  | 63 mm       | Varios                 | Beyca        | TG-02-C-11  | VM2-34      |
| Manómetro conexión roscada ¼"            | 1  | 63 mm       | Varios                 | Beyca        | TG-02-C-12  | MM2-34      |

| BULONERÍA               |    |                 |       |     |            |     |
|-------------------------|----|-----------------|-------|-----|------------|-----|
| Bulón cabeza hexagonal  | 32 | M16 x 2 x 80 mm | Acero | --- | TG-02-O-05 | --- |
| Tuerca cabeza hexagonal | 32 | M16 x 2         | Acero | --- | TG-02-O-06 | --- |
| Arandela Grower         | 32 | M16             | Acero | --- | TG-02-O-07 | --- |
| Bulón cabeza hexagonal  | 8  | M18 x 2 x 70 mm | Acero | --- | TG-02-O-08 | --- |
| Tuerca cabeza hexagonal | 8  | M18 x 2         | Acero | --- | TG-02-O-09 | --- |
| Arandela Grower         | 8  | M18             | Acero | --- | TG-02-O-10 | --- |

## 6. RECIRCULACIÓN DEL BIODIGESTOR

### 6.1. Selección de equipo de bombeo (RB-P-05)

Esta bomba será la encargada de recircular el agua en el interior del biodigestor. (Para detalles de cálculos ver "Sección 5.3. de Memorias de Cálculos")

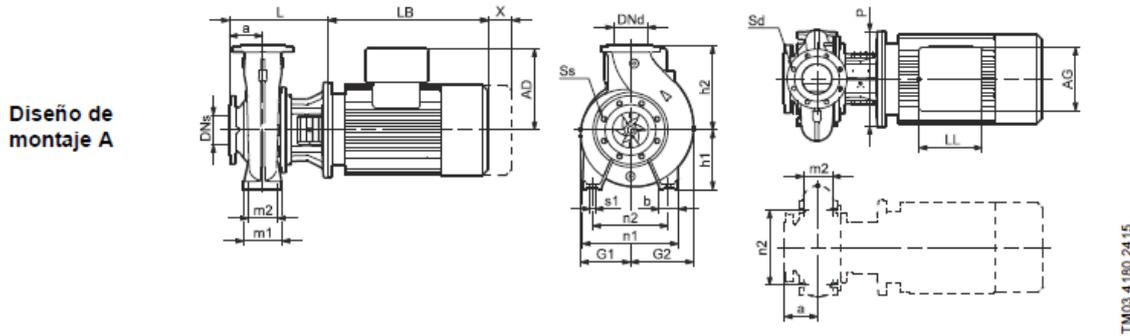
- Plano esquemático: PLANO P-RB-E-01

De la misma manera que en el circuito de calefacción se propone la instalación sin la utilización de codos, solo ampliando la curvatura en la conexión de los equipos.



La bomba seleccionada es de la empresa GRUNDFOS que posee las siguientes características:

Planos dimensionales, NB



| Tamaño de la bomba<br>Polos<br>P2 [KW] | Tamaño real del impulsor | Diseño de montaje | Bridas  |         | Dimensiones, NB [mm] |      |      |      |      |                 |                 |         |         |         |     |     |     |     |     |     |     |     |                 |                 |         |         |         |     |     |     |                |     |     |
|--|--------------------------|-------------------|---------|---------|----------------------|------|------|------|------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|
|  |                          |                   | PN      | DNs     | DNd                  | Ss   | Sd   | a    | A    | AD <sup>1</sup> | AG <sup>1</sup> | b       | B       | C       | h1  | h2  | H   | G1  | G2  | K   | L   |     | LB <sup>1</sup> | LL <sup>1</sup> | m1      | m2      | n1      | n2  | P   | s1  | X <sup>2</sup> |     |     |
|  |                          |                   |         |         |                      |      |      |      |      |                 |                 |         |         |         |     |     |     |     |     |     | Cl  | Ss  |                 |                 |         |         |         |     |     |     |                |     |     |
| 125-200 C1                             | 2                        | C1                | 18      | 150     | 125                  | 8x23 | 8x19 | 140  | 356  | 338/-           | 266/-           | 80      | 286     | 149     | 250 | 315 | 225 | 200 | 252 | 19  | 443 | 443 | 708/-           | 197/-           | 160     | 120     | 400     | 315 | 450 | 16  | 140            |     |     |
|  |                          |                   | 55      | 196-168 | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 406             | 410/-   | 319/-   | 80      | 349 | 168 | 250 | 315 | 250 | 200 | 252 | 24  | 443             | 443             | 747/-   | 233/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 550            | 16  | 140 |
|  |                          |                   | 75      | 205     | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 457             | 433/-   | 319/-   | 80      | 368 | 190 | 250 | 315 | 280 | 200 | 252 | 24  | 443             | 443             | 820/-   | 233/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 550            | 16  | 140 |
|  |                          |                   | 90      | 219     | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 457             | 433/-   | 319/-   | 80      | 368 | 190 | 250 | 315 | 280 | 200 | 252 | 24  | 443             | 443             | 930/-   | 233/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 550            | 16  | 140 |
|  |                          |                   | 110     | 224     | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 508             | 515/-   | 374/-   | 80      | 406 | 216 | 250 | 315 | 315 | 200 | 252 | 28  | 473             | 473             | 912/-   | 299/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 660            | 16  | 140 |
|  |                          |                   | 5,5     | 176-154 | A                    | 18   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19            | 140             | -       | 159/237 | 203/227 | 80  | -   | -   | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -               | 383             | 383     | 379/389 | 135/317 | 160 | 120 | 400 | 315            | 300 | 16  |
|  | 4                        | 7,5               | 196-180 | A       | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | -               | 159/237 | 203/227 | 80      | -   | -   | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -   | 383             | 383             | 429/389 | 135/317 | 160     | 120 | 400 | 315 | 300            | 16  | 140 |
|  |                          | 11                | 219     | C1      | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 254             | 204/308 | 243/420 | 80      | 210 | 108 | 250 | 315 | 180 | 200 | 252 | 15  | 413             | 413             | 545/471 | 213/400 | 160     | 120 | 400 | 315 | 350            | 16  | 140 |
|  |                          | 15                | 226     | C1      | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | 254             | 204/308 | 243/420 | 80      | 254 | 108 | 250 | 315 | 160 | 200 | 252 | 15  | 413             | 413             | 575/515 | 213/400 | 160     | 120 | 400 | 315 | 350            | 16  | 140 |
|  |                          | 1,5               | 176-150 | A       | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | -               | 166/-   | 135/-   | 80      | -   | -   | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -   | 383             | 383             | 336/-   | 112/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 250            | 16  | 140 |
|  |                          | 2,2               | 196-182 | A       | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | -               | 177/-   | 135/-   | 80      | -   | -   | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -   | 383             | 383             | 354/-   | 112/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 250            | 16  | 140 |
|  |                          | 3                 | 215     | A       | 18                   | 150  | 125  | 8x23 | 8x19 | 140             | -               | 202/-   | 155/-   | 80      | -   | -   | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -   | 383             | 383             | 385/-   | 130/-   | 160     | 120 | 400 | 315 | 300            | 16  | 140 |
| 4                                      | 226                      | A                 | 18      | 150     | 125                  | 8x23 | 8x19 | 140  | -    | 202/-           | 155/-           | 80      | -       | -       | 250 | 315 | -   | 200 | 252 | -   | 383 | 383 | 385/-           | 130/-           | 160     | 120     | 400     | 315 | 300 | 16  | 140            |     |     |

CARACTERÍSTICAS

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| MODELO              | NB 125-200 EUP   |
| DIÁMETRO DEL RODETE | 226 mm           |
| MATERIAL DEL RODETE | Acero Inoxidable |
| POTENCIA DE MOTOR   | 4 KW             |
| VELOCIDAD           | 970 RPM (6P)     |

A continuación, se detalla el punto de trabajo a través de la Tabla B5.

PUNTO DE TRABAJO

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| CAUDAL             | 230 m <sup>3</sup> /h |
| ALTURA             | 4,6 m                 |
| RENDIMIENTO        | 82%                   |
| NPSH               | 2,6 m                 |
| POTENCIA ABSORBIDA | 3,5 KW                |

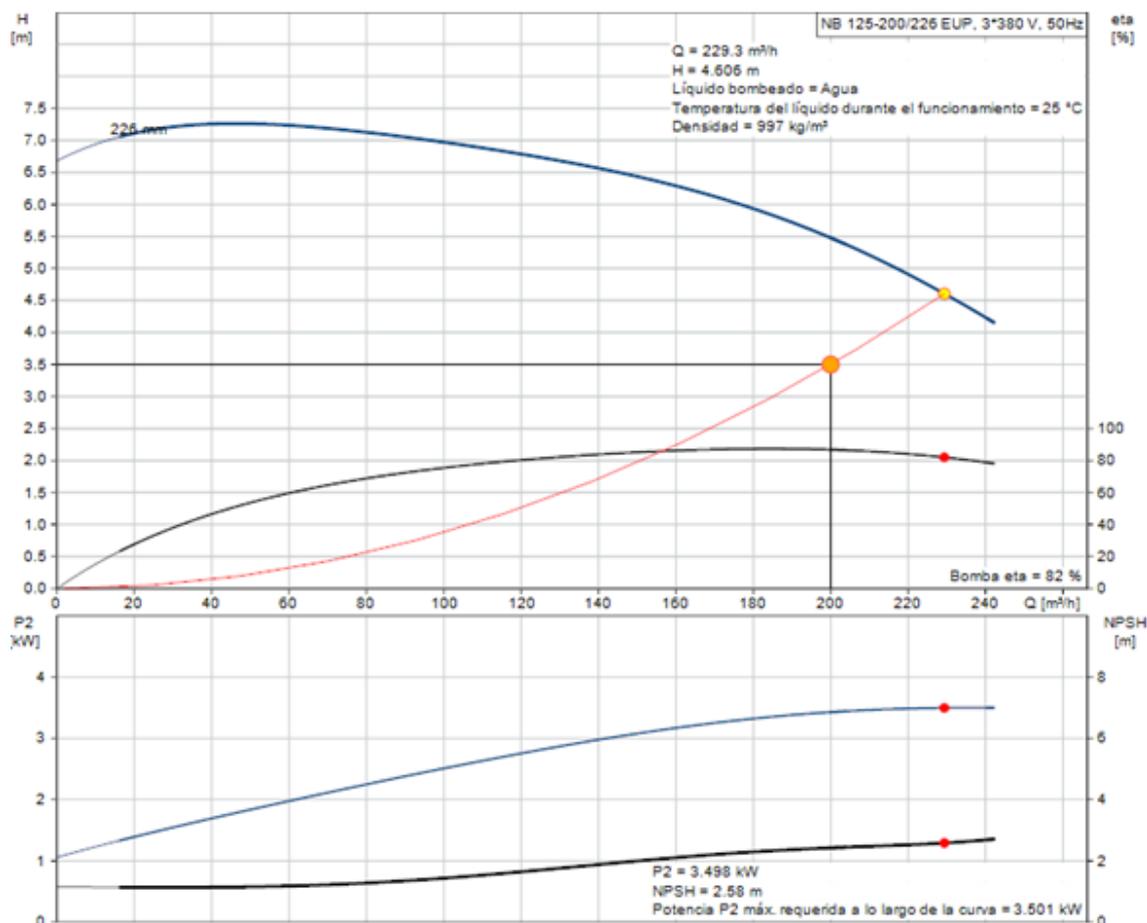


TABLA B5

## 6.2. Selección de cañerías y accesorios

En este punto se seleccionará las cañerías y accesorios necesarios para el funcionamiento del circuito.

| COMPONENTE                       | CANT.   | MATERIAL  | DESCRIPCIÓN                                  | CÓDIGO      |
|----------------------------------|---------|---|--|-------------|
| Tubería de aspiración            | 2 mts   | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 250mm;<br>e = 9,6mm      | TA-06       |
| Tubería de impulsión             | 125 mts | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 250mm;<br>e = 9,6mm      | TA-06       |
| Válvula de retención (bridada)   | 1       | <b>Cpo:</b> Fundición<br><b>Mecanismo:</b> Acero Inoxidable | Marca: Genebre<br>Modelo: 2450-18<br>Ø = 10" | TA-06-VR-01 |
| Adaptador de Brida electrofusión | 3       | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 250mm                    | TA-06-O-01  |
| Cupla electrofusión              | 13      | Polietileno<br>PN 80  | Marca: Aldyl<br>Ø = 250mm                    | TA-06-O-02  |

|   |   |           |   |            |
|---|---|-----------|---|------------|
| Cono de reducción<br>Bridado<br>(Entrada bomba) | 1 | Fundición | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 250mm<br>Ø2 = 150mm | TA-06-O-03 |
| Cono de reducción<br>Bridado<br>(Salida Bomba)  | 1 | Fundición | Marca: Pradinsa<br>Ø1 = 250mm<br>Ø2 = 125mm | TA-06-O-04 |

## 7. RECUBRIMIENTO (RB-G-01)

Para el recubrimiento de la pileta de efluentes se utiliza una geomembrana lisa de polietileno de alta densidad (PEAD).

- **MARCA:** SIGSA
- **MODELO:** GRI GM13
- **ESPESOR:** 2 mm
- **CANTIDAD:** 840 m

Se adjuntan detalles constructivos, ver “Sección 3.3. de Anexos Complementarios”.

## 8. PILETA DE ENFRIAMIENTO (CE-TK-01)

El Tanque Australiano seleccionado presenta las siguientes características:

- **MARCA:** Agua Piscinas
- **MODELO:** TK230
- **MATERIAL:** Hormigón (Con doble armadura de hierro)
- **DIÁMETRO:** 14 m
- **ALTO:** 1,5
- **VOLUMEN:** 230 m<sup>3</sup>



| DIÁMETRO<br>MTS | CANTIDAD<br>PLACAS | ALTURA<br>MTS | CAPACIDAD<br>MTS <sup>3</sup> |
|-----------------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| 9,90            | 20                 | 1,50          | 115                           |
| 14,00           | 28                 | 1,50          | 230                           |
| 16,71           | 35                 | 1,40          | 308                           |
| 19,10           | 40                 | 1,40          | 401                           |

Para detalles de cálculos ver “Sección 4 de Memorias de Cálculos”.

## 9. TORRE DE ENFRIAMIENTO (CE-T-01)

La torre de enfriamiento seleccionada presenta las siguientes características:

- **MARCA:** SINAX
- **MODELO:** EWK 441/D09-C12-CP (Con Pileta)
- **CAUDAL:** 70.000 litros/hora
- **CALOR DISIPADO:** 1.260.000 Kcal/h
  
- **VENTILADOR:** Axial
- **TRANSMISION:** Acople directo sin reductor
- **MARCA:** Wingfan o Multiwing
  
- **MOTOR:** WEG (Trifásico)
- **TENSIÓN:** 3x380 V/ 50 Hz
- **POTENCIA:** 7,5 HP
- **RPM:** 1000



Para detalles de cálculos ver “Sección 3 de Memorias de Cálculos”.

- Plano constructivo: PLANO P-CE-D-07

## 10.RESULTADOS DE CÁLCULOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

### 10.1. Inversión inicial

| TOTAL INVERSIÓN                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| SECTOR Y/O EQUIPO               | MONTO (US\$)       |
| INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS | 53010,54           |
| CIRCUITO DE CALEFACCION         | 27833,69           |
| PLANTA EXTRACCION DE BIOGAS     | 36740,41           |
| RECIRCULACION BIODIGESTOR       | 11909,08           |
| RECUBRIMIENTO DE PILETA         | 142149,27          |
| OTROS                           | 35459,73           |
| <b>TOTAL INVERSION (US\$)</b>   | <b>307102,72</b>   |
| <b>TOTAL INVERSION (\$)</b>     | <b>19117144,32</b> |

Para detalle de cálculos ver “Sección 9.1 de Memorias de Cálculo”.

### 10.2. Ingresos

Los ingresos de fondos se deben sólo a la generación de biogás por parte del biodigestor, lo que genera un ahorro debido a la reducción de consumo de GLP, obteniendo:

- Generación diaria de biogás: 2000 m<sup>3</sup>
- Ahorros mensuales: US\$ 12780

Para más detalles de la generación ver “Sección 9.2 de Memorias de Cálculo”

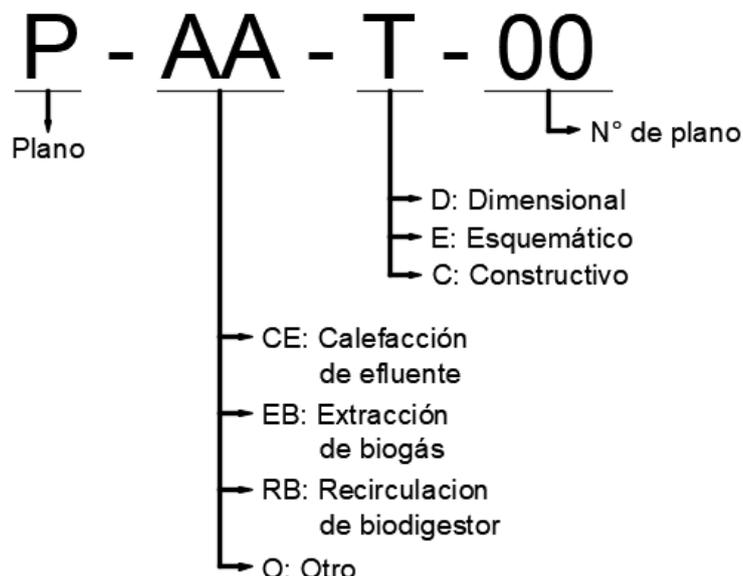
### 10.3. Amortización

| COSTO INICIAL (US\$) | COSTO MENSUAL (US\$) | AHORRO MENSUAL (US\$) | AMORTIZACION (Meses) |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 307102,72            | 776,67               | 12780,00              | 25,6                 |

Se estima un retorno de inversión de aproximadamente de 26 meses, es decir, dos años y dos meses.

## 11. PLANOS

### 11.1. Codificación De Planos



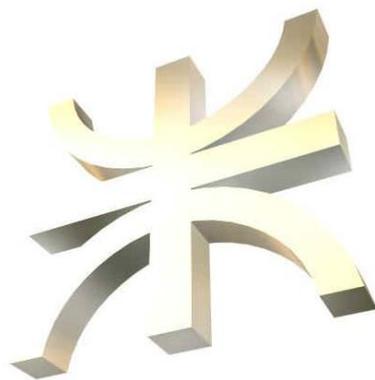
### 11.2. Listado de Planos

| PLANO | DENOMINACIÓN   | CÓDIGO    |
|-------|--|-----------|
| 1     | DIMENSIONES DE PLANTA COMPLETA                       | P-O-D-01  |
| 2     | VISTA EXTERIOR – TABLERO DE CALEFACCIÓN              | P-O-D-02  |
| 3     | VISTA EXTERIOR – TABLERO DE PLANTA DE EXTRACCIÓN     | P-O-D-03  |
| 4     | VISTA INTERIOR – TABLERO DE CALEFACCIÓN              | P-O-E-01  |
| 5     | VISTA INTERIOR – TABLERO DE PLANTA DE EXTRACCIÓN     | P-O-E-02  |
| 6     | DIAGRAMA UNIFILAR DE POTENCIA - CALEFACCIÓN          | P-O-E-03  |
| 7     | DIAGRAMA UNIFILAR DE POTENCIA – PLANTA DE EXTRACCIÓN | P-O-E-04  |
| 8     | PLANTA COMPLETA                                      | P-O-E-05  |
| 9     | EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE BIOGAS                      | P-EB-E-01 |
| 10    | DIMENSIONES DE EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE BIOGAS       | P-EB-D-01 |
| 11    | DIMENSIONES DE PLANTA DE EXTRACCIÓN DE BIOGAS        | P-EB-D-02 |
| 12    | BRIDA DN100  | P-EB-C-01 |
| 13    | BRIDA 3"   | P-EB-C-02 |
| 14    | INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS                      | P-CE-E-01 |
| 15    | INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS - CODIFICACIÓN       | P-CE-E-02 |
| 16    | TORRE DE ENFRIAMIENTO                                | P-CE-E-03 |
| 17    | ACUOCONDENSADORES Y TUBERIAS - CODIFICACION          | P-CE-E-04 |
| 18    | SECTOR DE CALEFACCIÓN                                | P-CE-E-05 |

|           |                                   |           |
|-----------|-----------------------------------|-----------|
| <b>19</b> | ENSAMBLE DE INTERCAMBIADOR        | P-CE-C-01 |
| <b>20</b> | UNIÓN TEE                         | P-CE-C-02 |
| <b>21</b> | DIMENSIONES DEL INTERCAMBIADOR    | P-CE-D-01 |
| <b>22</b> | DIMENSIONES DE LA CARCASA         | P-CE-D-02 |
| <b>23</b> | DIMENSIONES DE CABEZALES          | P-CE-D-03 |
| <b>24</b> | DIMENSIONES DE PLACAS PORTATUBOS  | P-CE-D-04 |
| <b>25</b> | DIMENSIONES DE DEFLECTORES        | P-CE-D-05 |
| <b>26</b> | DIMENSIONES DE TAPAS              | P-CE-D-06 |
| <b>27</b> | DIMENSIONES TORRE DE ENFRIAMIENTO | P-CE-D-07 |
| <b>28</b> | SECTOR DE RECIRCULACIÓN           | P-RB-E-01 |
| <b>29</b> | CORTE DE LAS JUNTAS               | P-CE-D-08 |

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



MEMORIAS DE  
CÁLCULO

## ÍNDICE

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 1.     | GENERACIÓN DE VAPOR EN SUBPRODUCTOS .....                             | 2   |
| 1.1.   | Balance De Masa .....   | 2   |
| 1.2.   | Dimensionado De Equipos Y Accesorios .....                            | 4   |
| 2.     | CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR .....                      | 6   |
| 2.1.   | PROPUESTA 1 – Acuocondensador e Intercambiador de Placas .....        | 6   |
| 2.2.   | PROPUESTA 2 – Condensador de Mezcla .....                             | 9   |
| 2.3.   | PROPUESTA 3 – Acuocondensador e Intercambiador de Casco y Tubos ..... | 26  |
| 2.4.   | Selección De Propuesta .....  | 45  |
| 2.5.   | Cálculo Mecánico Del Equipo Propuesto .....                           | 47  |
| 3.     | CÁLCULO PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO (CE-T-01).....                     | 57  |
| 4.     | CÁLCULO PARA PILETA DE ENFRIAMIENTO (CE-TK-01).....                   | 58  |
| 5.     | CÁLCULOS PARA EQUIPOS DE BOMBEO .....                                 | 58  |
| 5.1.   | Circuito De Efluente O De Faena (CE-P-01).....                        | 58  |
| 5.2.   | Circuito De Enfriamiento .....  | 64  |
| 5.2.1. | Línea de vísceras (CE-P-02).....                                      | 64  |
| 5.2.2. | Línea de plumas (CE-P-03).....  | 69  |
| 5.2.3. | Salida torre de enfriamiento (CE-P-04).....                           | 74  |
| 5.3.   | Circuito De Recirculación Del Biodigestor (RB-P-05).....              | 79  |
| 6.     | CÁLCULO TÉRMICO DEL BIODIGESTOR .....                                 | 84  |
| 6.1.   | Pérdida De Calor En La Pileta .....                                   | 84  |
| 6.2.   | Calor Entregado Por El Intercambiador.....                            | 88  |
| 6.3.   | Calor Total Aportado Al Biodigestor .....                             | 89  |
| 7.     | CÁLCULO DE PLANTA EXTRACTORA DE GAS .....                             | 89  |
| 7.1.   | Cálculo de tubería de transporte de biogás .....                      | 89  |
| 7.2.   | Cálculo De Soplador (EB-S-01).....                                    | 96  |
| 8.     | CÁLCULO DE CONSUMO ELÉCTRICO.....                                     | 97  |
| 9.     | CÁLCULO DE COSTOS .....   | 97  |
| 9.1.   | Presupuesto/ Inversión inicial .....                                  | 97  |
| 9.2.   | Flujo De Fondos .....   | 104 |
| 9.3.   | Cálculo De Retorno De Inversión .....                                 | 106 |

## 1. GENERACIÓN DE VAPOR EN SUBPRODUCTOS

En esta sección se calcularán los equipos encargados de condensar el vapor de agua proveniente de la planta de subproductos, esto se debe a que se necesitan determinados datos para los cálculos que se realizarán a continuación.

Cabe mencionar que no se realizará la selección de estos equipos ni se incluirán en el presupuesto del proyecto dado que los mismos son parte de la planta antes mencionada la cual está próxima a ser construida, es decir, que por el momento no se dispone de equipos físicos.

### 1.1. Balance De Masa

Para realizar el balance de masa correspondiente a los procesos que generan vapor de agua de baja presión producto de la cocción de los subproductos de las aves, se parte de los datos proporcionados por la planta Fadel S.A. para una producción de 13.500 aves por hora, con un peso promedio por ave de 2,85 Kg y teniendo en cuenta lo dictado en la cátedra de “Instalaciones Regionales e Industriales”:

#### 1.1.1. Línea de proceso de vísceras

Los sólidos en este proceso representan alrededor del 12 – 13 % del peso vivo del ave e incluye las cabezas considerando un 70% de humedad. Entonces la cantidad de vísceras a procesar será:

$$\begin{aligned}\dot{m}_e &= 13.500 \text{ Kg/h} \times 2,85 \text{ Kg} \times 0,13 \\ \dot{m}_e &= 5000 \text{ Kg/h} \\ h_{r_e} &= 70\%\end{aligned}$$

Luego, se debe realizar el cocido obteniendo un producto a la salida del digestor con una humedad relativa del 10%.

Se realiza el balance de entrada y salida del digestor:

- $\dot{H}_e$ : humedad de las vísceras a la entrada del digestor
- $\dot{H}_s$ : humedad de las vísceras a la salida del digestor
- $\dot{m}_{v_{secas}}$ : flujo másico de vísceras secas
- $h_{r_s}$ : humedad relativa a la salida del digestor

$$\dot{H}_e = h_{r_e} \times \dot{m}_e = 3500 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{m}_{v_{secas}} = \dot{m}_e - \dot{H}_e = 1500 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{H}_s = \frac{h_{r_s} \times \dot{m}_{v_{secas}}}{1 - h_{r_s}} = 167 \text{ Kg/h}$$

Se calcula la cantidad de agua a evaporar en el digestor:

$$Evap = \dot{H}_e - \dot{H}_s = 3333 \text{ Kg/h}$$

➤ Balance de masa:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_{v_{secas}} + \dot{H}_s + Evap$$

$$5000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 1500 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} + 167 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} + 3333 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

### 1.1.2. Línea de proceso de plumas

Las plumas de las aves conforman aproximadamente el 6% del peso vivo. Considerando una humedad del 75%, se obtiene que la cantidad de plumas a procesar será:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{e1} &= 13.500 \text{ Kg/h} \times 2,85 \text{ Kg} \times 0,06 \\ \dot{m}_{e1} &= 2310 \text{ Kg/h} \\ h_{r_e} &= 75\% \end{aligned}$$

Posteriormente, se realiza la hidrólisis de la pluma donde se llega a una humedad del producto del 52%.

Para este primer balance se considera que el proceso de hidrólisis es continuo.

- $\dot{H}_{e1}$ : humedad de las plumas a la entrada del hidrolizador
- $\dot{H}_{s1}$ : humedad de las plumas a la salida del hidrolizador
- $\dot{m}_{p_{secas1}}$ : flujo másico de plumas secas
- $h_{r_s}$ : humedad relativa a la salida del hidrolizador

$$\dot{H}_{e1} = h_{r_e} \times \dot{m}_{e1} = 1733 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{m}_{p_{secas1}} = \dot{m}_{e1} - \dot{H}_{e1} = 577 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{H}_{s1} = \frac{h_{r_s} \times \dot{m}_{p_{secas1}}}{1 - h_{r_s}} = 625 \text{ Kg/h}$$

Se calcula la cantidad de agua a evaporar en el hidrolizador:

$$Evap_1 = \dot{H}_{e1} - \dot{H}_{s1} = 1108 \text{ Kg/h}$$

➤ Balance de masa 1:

$$\dot{m}_{e1} = \dot{m}_{p_{secas1}} + H_{s1} + Evap_1$$

$$2310 \frac{Kg}{h} = 577 \frac{Kg}{h} + 625 \frac{Kg}{h} + 1108 \frac{Kg}{h}$$

## 1.2. Dimensionado De Equipos Y Accesorios

Dado que la planta de subproductos contará con dos equipos, uno para cada línea, se realiza el dimensionado y selección de los mismos utilizando el balance de masa realizado en el punto anterior, se considera un aumento del 20% de la capacidad de evaporación para que el equipo no trabaje con su máxima carga.

Datos:

- Evaporación digestor de vísceras:  $Evap_{DIG} = 3333 \frac{Kg}{h} \times 1.2 = 4000 \text{ Kg/h}$
- Evaporación hidrolizador de plumas:  $Evap_{HID} = 1108 \frac{Kg}{h} \times 1.2 = 1330 \text{ Kg/h}$

### 1.2.1. Datos para la selección

La selección se realiza en base a la carga térmica, afectado por un 80% del rendimiento de los equipos se tiene:

Línea de vísceras

$$\dot{Q} = Evap_{DIG} \times \lambda_v$$

$$\dot{Q} = 4000 \frac{Kg}{h} \times 570 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$\dot{Q} = 2.280.000 \text{ Kcal/h}$$

Línea de plumas

$$\dot{Q} = Evap_{HID} \times \lambda_v$$

$$\dot{Q} = 1330 \frac{Kg}{h} \times 570 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$\dot{Q} = 758100 \text{ Kcal/h}$$

### 1.2.2. Cálculo del caudal de agua necesario para la condensación

En este punto se calcula el caudal de agua necesario para condensar los gases provenientes de los digestores.

#### Línea de vísceras

$$\dot{m}_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O} = \dot{m}_v \times \lambda_v$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_v \times \lambda_v}{Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O}}$$

Siendo:

- $\dot{m}_{H_2O}$ : Flujo másico de agua [Kg / h]
- $\dot{m}_v$ : Flujo másico de gases [Kg / h]
- $Cp_{H_2O}$ : Calor latente del agua a 25 °C [KJ/Kg]
- $\lambda_v$ : Calor latente de los gases a 100 °C [KJ/Kg]
- $\Delta T$ : Variación de temperatura [°C]

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{3333 \frac{Kg}{h} \times 539,4 \frac{kcal}{Kg}}{1 \frac{kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \times (60 - 25)^\circ C}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 51366 \text{ Kg/h}$$

#### Línea de plumas

$$\dot{m}_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O} = \dot{m}_v \times \lambda_v$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_v \times \lambda_v}{Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O}}$$

Siendo:

- $\dot{m}_{H_2O}$ : Flujo másico de agua [Kg / h]
- $\dot{m}_v$ : Flujo másico de gases [Kg / h]
- $Cp_{H_2O}$ : Calor latente del agua a 25 °C [KJ/Kg]
- $\lambda_v$ : Calor latente de los gases a 100 °C [KJ/Kg]
- $\Delta T$ : Variación de temperatura [°C]

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{1108 \frac{Kg}{h} \times 539,4 \frac{kcal}{Kg}}{1 \frac{kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \times (60 - 25)^\circ C}$$

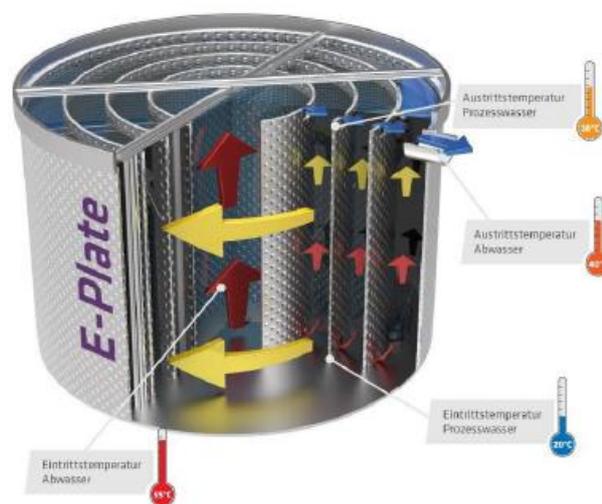
$$\dot{m}_{H_2O} = 17076 \text{ Kg/h}$$

## 2. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR

### 2.1. PROPUESTA 1 – Acuocondensador e Intercambiador de Placas

Esta propuesta consiste en tomar el agua proveniente del acuocondensadores de vísceras para que, a través de un intercambiador de calor de placas junto con una inyección de vapor se logre incrementar la temperatura del agua que ingresa al biodigestor con el fin de obtener una mayor producción de biogás. El agua proveniente del acuocondensador de plumas se envía directamente a la torre de enfriamiento.

#### 2.1.1. Recuperador de calor de placas



Cabe mencionar que el caudal de agua proveniente de la planta de faena es de 100m<sup>3</sup>/h a unos 22°C, pero solo se calentaran 50m<sup>3</sup>/h ya que el intercambiador debe tener los mismos caudales de agua circulando por él. Los otros 50m<sup>3</sup>/h se enviarán por un canal para luego mezclarse con el agua que sale del intercambiador y entrar al biodigestor a una temperatura aproximada de 38°C. El agua de efluente una vez pase por el intercambiador de placas se envía a la torre de enfriamiento para disminuir su temperatura y luego volver a entrar a los acuocondensadores.

#### 2.1.2. Masa de vapor a inyectar

El vapor que se inyectará en el agua que ingresa al intercambiador proviene de una caldera ubicada en la planta de subproductos. Se deberá elevar la temperatura de 60 °C a 85 °C. La caldera proporciona un vapor de agua sobrecalentado a una presión de 5bar.

Datos:

- Presión de trabajo:  $P = 5 \text{ bar}$
- Temperatura del vapor:  $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Entalpia del vapor:  $h_g = 2855,4 \text{ kJ/kg} \cong 685 \text{ kcal/kg}$
- Volumen especifico:  $v = 0,425 \text{ m}^3/\text{Kg}$
- Temperatura a aumentar:  $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Caudal:  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Volumen especifico del agua a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $V_f = 1,017 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}$

$$\dot{Q} = Q \times Cp \times \Delta T$$

$$Kg_{gases} \times h_g = Q \times Cp \times \Delta T$$

Despejando los  $Kg_{gases}$  obtenemos:

$$Kg_{gases} = \frac{Q \times Cp \times \Delta T}{h_g}$$

Reemplazando:

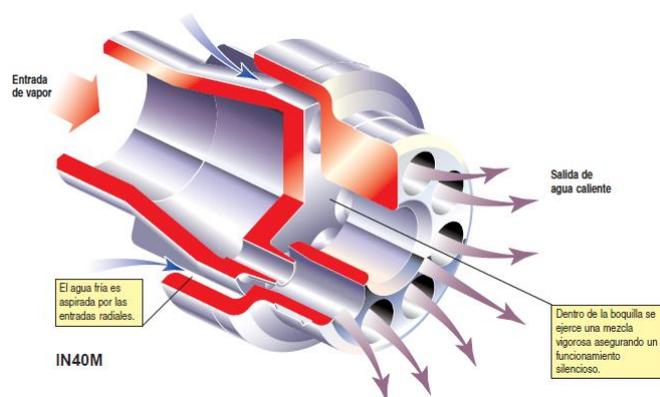
$$Kg_{gases} = \frac{49164 \text{ Kg/h} \times 1 \text{ kcal/Kg }^\circ\text{C} \times 25^\circ\text{C}}{685 \text{ kcal/kg}}$$

$$Kg_{gases} = 1794 \text{ Kg/h}$$

### 2.1.2.1. Inyector de vapor

Para la inyección de vapor se seleccionarán inyectoros de la marca SPIRAX SARCO, que dependiendo de la cantidad y el modelo de los mismos se realizará su distribución.

Los inyectoros seleccionados son del modelo IN40M, descritos a continuación:



### 2.1.2.2. Cantidad de inyectores

El número de inyectores se seleccionarán en base a la tabla proporcionada por el catálogo de los mismos. Los inyectores seleccionados como se mencionó anteriormente son el modelo IN40M, los cuales trabajarán a una presión de 5 bar. Para tablas y figuras citadas (Ver “Sección 4.1.1.1 de Anexos Complementarios”)

Entonces si el caudal de vapor a aportar es 1794kg/h y los inyectores pueden aportar 1125 Kg/h, se necesitarán dos de estos, obteniendo un caudal final de 2250Kg/h. Este caudal se podrá regular gracias al sistema de control.

### 2.1.3. Dimensionado del depósito de agua

Se realizará la inyección de vapor al agua en un depósito cilíndrico para que posteriormente esta ingrese al intercambiador. Para saber el volumen del depósito que se deberá fabricar se utilizan las tablas proporcionadas por el catálogo de los inyectores SPIRAX SARCO. Para tablas y figuras citadas (Ver “Sección 4.1.1.2 de Anexos Complementarios”)

Entonces, ingresando a la tabla con el caudal requerido y la temperatura a elevar obtenemos:

- $Q = 1794 \text{ Kg/h}$
- Temperatura:  $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- La línea AZUL representa nuestro caso.

Según la tabla la capacidad del tanque o caudal de agua debe ser aproximadamente de 40000 Kg/h (o Litros hora) o 667 Kg/m (Litros minuto).

Se propone un tiempo de estadía del agua en el recipiente de unos 5 minutos, obteniendo así 3335 Kg de agua.

Si multiplicamos dicho valor por el volumen específico del fluido a 60 °C, el cual es  $V_f = 1,017 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ , obtenemos el volumen en metros cúbicos del recipiente:

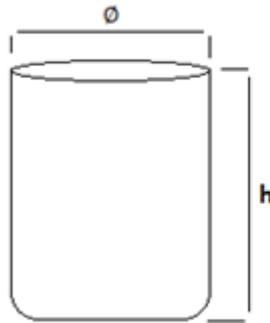
$$\begin{aligned} Vol &= V_f * 3335 \text{ Kg} \\ Vol &= 1,017 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} * 3335 \text{ Kg} \\ Vol &= 3,39 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Entonces se propone un recipiente circular con las siguientes medidas para cumplir con el volumen requerido:

$$Vol = \pi \times r^2 \times h$$

$$Vol = \pi \times 0,6m^2 \times 3m$$

$$Vol = 3,39m^3$$



DATOS:

$$\varnothing = 1.2 \text{ m}$$

$$h = 3 \text{ m}$$



$$3,4 \text{ m}^3$$

Se presenta un “Esquema Tentativo” de la propuesta en cuestión. (Ver “Sección 4.1.1.3 de Anexos Complementarios”)

## 2.2. PROPUESTA 2 – Condensador de Mezcla

Los condensadores de mezcla, también llamados torres empacadas, se utilizan para el contacto continuo del líquido y del gas.



Son columnas verticales que se llenan con empaque de superficie grande. El líquido se distribuye sobre éste y escurre hacia abajo a través del lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie al contacto con el gas, que fluye a contracorriente de forma ascendente dentro de la columna.

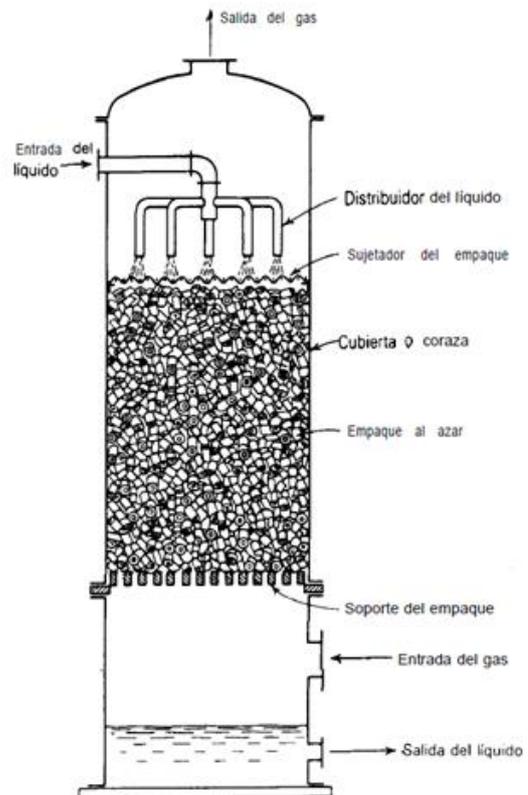


Figura 6.27 Torre empacada.

### 2.2.1. Caudal de agua necesario para el condensador

Para realizar la condensación de los vahos se propone tomar agua de la salida de la pileta de efluentes, ya que esta se encuentra más limpia que el agua proveniente del separador de grasas (DAF), la cual podría causar incrustaciones severas en el equipo. Por lo tanto, el agua proveniente de la salida de la pileta de efluentes se bombea hasta el condensador de mezcla para ponerse en contacto con los gases de salida tanto del digestor de vísceras como del hidrolizador de plumas. Éstos vapores a alta temperatura (100 °C) cediendo calor al agua logrando la condensación de los mismos. Esta mezcla de agua de recirculación y condensado de vahos, se mezcla fuera del equipo con el agua proveniente de faena para entrar nuevamente a la pileta de efluentes y cerrar el ciclo.

#### Datos

- Temperatura de agua de entrada: 22°C
- Temperatura de agua de salida: 55°C
- Volumen específico vapor: 1,672 m<sup>3</sup>/Kg
- Calor latente de vaporización a presión atmosférica: 539,4 kcal/Kg
- Temperatura de vahos: 100 °C

El equipo se diseña para el flujo de vapor máximo, es decir, cuando la producción de la planta sea máxima. Se supone una faena de 13500 aves por hora.

Flujo másico vapor:

$$\dot{m}_v = Evap_{DIG} \times 1,35 + Evap_{HID} \times 1,35$$

$$\dot{m}_v = 2470 \frac{Kg}{h} \times 1,35 + 860,1 \frac{Kg}{h} \times 1,35 = 4495,6 \frac{Kg}{h} = 1,25 \frac{Kg}{s}$$

Flujo volumétrico vapor:  $\dot{v}_v = 1,25 \text{ Kg/s} \times 1,67 \text{ m}^3/\text{Kg} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$

### Balance de energía

$$\dot{m}_v \times \lambda_v + \dot{m}_v \times Cp_v \times \Delta T = \dot{m}_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O}$$

Despejando el flujo másico de agua:

$$\dot{m}_v \times \lambda_v + \dot{m}_v \times Cp_v \times \Delta T = \dot{m}_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_v \times (\lambda_v + Cp_v \times \Delta T)}{Cp_{H_2O} \times \Delta T_{H_2O}}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{4495,6 \frac{Kg}{h} \times \left( 539,4 \frac{kcal}{Kg} + 1 \frac{kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \times (100 - 55) ^\circ C \right)}{1 \frac{kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \times (55 - 22) ^\circ C}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 79613 \text{ Kg/h}$$

## 2.2.2. Dimensionamiento de la torre

### 2.2.2.1. Empaque

Para el relleno de la torre se utilizan anillos raschig de 2" de diámetro nominal, los que son recomendados para un flujo del gas de 1 m<sup>3</sup>/s o mayores. Éstos pueden ser de polipropileno (PP), ya que poseen propiedades dimensionales muy similares a los anillos raschig de acero, pero tienen un costo considerablemente menor.



Además, soportan correctamente temperaturas de hasta 120 °C, la cual está por debajo de nuestra temperatura de proceso.

### 2.2.2.2. Diámetro de la torre

Para el cálculo del diámetro de la torre es necesario definir las siguientes tres variables:

- $L$ : gasto o masa velocidad del líquido
- $G$ : gasto o masa velocidad del gas
- $U_t$ : velocidad de inundación

Considerando que, con el volumen de vapor ingresa a la torre un 15% de aire a igual temperatura, el volumen de gases total a considerar para el cálculo del diámetro de la misma será:

$$\text{Flujo volumétrico de aire: } \dot{v}_{\text{aire}} = \frac{2,1 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,15}{0,85} = 0,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Flujo volumétrico total: } \dot{v}_T = 2,1 \frac{m_{\text{vapor}}}{s} + 0,37 \frac{m_{\text{aire}}}{s} = 2,47 \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Volumen específico del aire: } p \times v = R \times T \rightarrow v = \frac{R \times T}{p}$$

$$v = \frac{0.287 \frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K} \times 373 K}{101,325 KPa} = 1,06 m^3/Kg$$

$$\text{Flujo másico aire: } \dot{m}_{aire} = \frac{0,37 m^3/s}{1,06 m^3/Kg} = 0,35 \frac{Kg}{s} = 1260 \frac{Kg}{h}$$

$$\text{Flujo másico total: } \dot{m}_T = 4495,6 \frac{Kg_{vapor}}{h} + 1260 \frac{Kg_{aire}}{h} = 5755,6 \frac{Kg}{h}$$

De cálculos anteriores se obtiene que:

$$L = 79613 Kg/h$$

$$G = 5755,6 Kg/h$$

Se halla la densidad promedio de los gases de entrada:

$$\frac{1}{\rho_g} = \frac{X_v}{\rho_v} + \frac{X_a}{\rho_a}$$

Donde:

$X_v$ ;  $X_a$ ; es la fracción en masa de cada uno de los compuestos.

$$\frac{1}{\rho_g} = \frac{1}{0,598 \frac{Kg}{m^3}} + \frac{0,28}{0,943 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$\frac{1}{\rho_g} = 1,97 \frac{m^3}{Kg}$$

$$\rho_g = 0,51 \frac{Kg}{m^3}$$

Para definir la velocidad de inundación de la torre se utiliza la figura 18-37. (**PERRY**. Manual del Ingeniero Químico. 6ª Ed. Pág18-23) (Ver "Sección 4.2.1.1 de Anexos Complementarios")

En la cual:

- $U_t$ : Velocidad superficial de gas (m/s)
- $a_p$ : área total del empaque ( $m^2/(m^3 \text{ de lecho})$ )
- $e$ : fracción de espacios vacíos en el empaque seco
- $\mu$ : viscosidad del líquido (cP)
- $\rho_l$ : densidad del líquido ( $Kg/m^3$ )

- $\rho_g$ : densidad del gas ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
- $g_c$ : constante gravitacional

Para ingresar a la gráfica se halla el siguiente parámetro:

$$\frac{L}{G} \times \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}$$

$$\frac{79613 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{5755,6 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}} \times \sqrt{\frac{0,51 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} = 0,31$$

De la figura anterior se halla el valor del parámetro que define la velocidad de inundación de la torre para anillos vaciados al azar:

$$\frac{U_t^2 \times a_p \left(\frac{\rho_g}{\rho_l}\right)^{\mu^{0,2}}}{g_c \times e} = 0,055$$

Las características propias del relleno se extraen de tabla 18-5 (**PERRY**. Manual del Ingeniero Químico. 6ª Ed. Pág18-25) para relleno de anillos raschig de acero de 50 mm de diámetro nominal. (Ver "Sección 4.2.1.2 de Anexos Complementarios")

$$\frac{U_t^2 \times 95 \text{ m}^2/\text{m}^3}{9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2} \times 0,92} \left(\frac{0,51 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}\right)^{1,002 \text{ cP}^{0,2}} = 0.055$$

$$U_t^2 = 10,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$U_t = 3,20 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, la velocidad de inundación de la torre se da a una velocidad del gas de 3,20 m/s.

Se define el punto de trabajo de la torre alrededor del 30% de la velocidad de inundación. Por lo que se calcula el diámetro de la misma para una velocidad del gas de 0,9 m/s.

$$\text{Diámetro de la torre: } \phi = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{2,47 \text{ m}^3/\text{s}}{0,90 \text{ m/s}}} = 1,90 \text{ m}$$

Se verifica de esta manera que el relleno seleccionado está dentro de los parámetros recomendados, lo cual se corrobora con la tabla *PDVSA – Manual de Diseño de Proceso – Torres de Destilación Empacadas* (Ver “Sección 4.2.1.3 de Anexos Complementarios”)

### 2.2.2.3. Altura de empaque

Para lograr una transferencia de calor equivalente a la que se da por contacto directo sobre el relleno de la torre se determina la superficie de contacto que se lograría mediante una aspersion de agua a 22 °C, con un tamaño de gota promedio de 1mm de diámetro, a contracorriente con los gases provenientes tanto del digestor de vísceras como del hidrolizador de plumas.

Se propone un tiempo de contacto de 3 segundos entre los dos fluidos hasta lograr la condensación total de los vahos, con lo cual se determina la superficie de contacto que proporcionan las gotas en ese tiempo.

Caudal de agua:

$$\dot{v}_{H_2O} = \frac{79613 \text{ Kg/h}}{997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 79,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Volumen de una gota:

$$V_{gota} = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times (5 \times 10^{-4} \text{ m})^3$$

$$V_{gota} = 5,24 \times 10^{-10} \text{ m}^3$$

Superficie de una gota:

$$S_{gota} = 4 \times \pi \times r^2 = 4 \times \pi \times (5 \times 10^{-4} \text{ m})^2$$

$$S_{gota} = 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Cantidad de gotas:

$$\frac{79,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{5,24 \times 10^{-10} \text{ m}^3} = 1,52 \times 10^{11} \frac{\text{gotas}}{\text{h}} = 4,23 \times 10^7 \frac{\text{gotas}}{\text{s}}$$

En 3 segundos:  $1,27 \times 10^8 \text{ gotas}$

Superficie total de contacto:

$$S_T = 1,27 \times 10^8 \text{ gotas} \times 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$S_T = 398,78 \text{ m}^2$$

Del relleno seleccionado, se tiene que el área superficial:  $a=95 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , por lo que se necesitan  $4,20 \text{ m}^3$  de relleno para lograr la superficie de contacto requerida para realizar el intercambio.

Teniendo definido el diámetro de la torre, se halla la altura del empaque:

$$L_{emp} = \frac{4,20 \text{ m}^3}{\frac{\pi \times (1,90 \text{ m}^2)}{4}} = \frac{4,20 \text{ m}^3}{2,84 \text{ m}^2} = 1,48 \text{ m} \rightarrow 2 \text{ m}$$

Se adopta una altura de empaque de 2 metros.

#### 2.2.2.4. Caída de presión de la torre

Para determinar la caída de presión a través del empaque de la torre se utiliza la correlación de la figura 18-38. (**PERRY**. Manual del Ingeniero Químico. 6ª Ed. Pág18-24). (Ver “Sección 4.2.1.4 de Anexos Complementarios – Figura 1”)

Se hallan los siguientes parámetros adimensionales:

$$\frac{G^2 \times F_p \times \psi \times \mu^{0,2}}{\rho_g \times \rho_l \times g_c}$$

$$\frac{L}{G} \times \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}$$

Donde:

- $G$ : gasto o masa velocidad del gas ( $\text{Kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ )
- $L$ : gasto o masa velocidad del líquido ( $\text{Kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ )
- $F_p$ : factor de empaque ( $\text{m}^{-1}$ )
- $\psi$ : relación entre la densidad del agua y la del líquido
- $\mu$ : viscosidad del líquido (cP)
- $\rho_l$ : densidad del líquido ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
- $\rho_g$ : densidad del gas ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
- $g_c$ : constante gravitacional

$$\frac{\left(0,56 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}\right)^2 \times 187 \text{ m}^{-1} \times 1,003 \times (1,002 \text{ cP})^{0,2}}{0,51 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}} = 0,012$$

$$\frac{7,79 \frac{kg}{s \cdot m^2}}{0,56 \frac{kg}{s \cdot m^2}} \times \sqrt{\frac{0,51 \frac{Kg}{m^3}}{997 \frac{Kg}{m^3}}} = 0,31$$

De la figura citada, (Ver “Sección 4.2.1.4 de Anexos Complementarios – Figura 2”), se obtiene la siguiente caída de presión:

$$\Delta P = 0,16 \frac{in. c. a.}{ft_{emp}} \times 83,31 = 13,33 \frac{mmH2O}{m_{emp}}$$

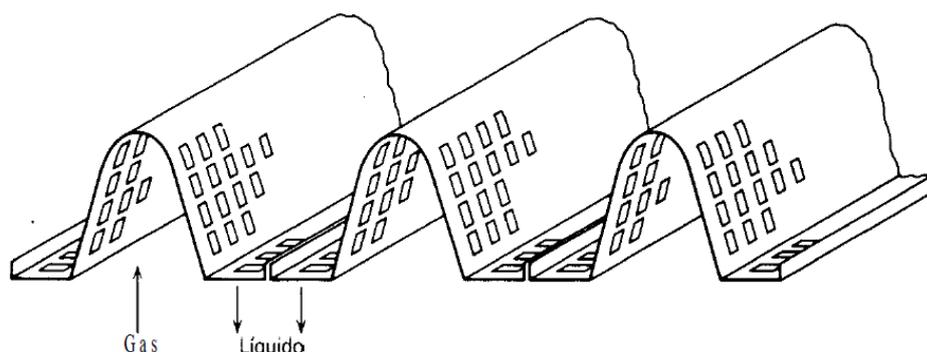
Por lo tanto, la caída de presión total a través de los 2 metros de empaque es:

$$\Delta P = 2 m_{emp} \times 25 \frac{mmH2O}{m_{emp}} = 26,66 mmH2O$$

#### 2.2.2.5. Soporte de empaque

Es necesario disponer de un soporte que sea capaz de resistir el peso de la altura dada de empaque pero que a su vez proporcione un área libre suficiente para permitir el flujo del líquido y del vapor con un mínimo de restricción. Este espacio abierto en el fondo de la torre debe asegurar, además, una buena distribución del gas en el empaque.

Para esto, se propone utilizar un plato de soporte tipo viga que proporciona un área libre para el flujo del 85%.



### 2.2.2.6. Distribuidor de líquido

Los distribuidores de líquido son muy importantes ya que, si el empaque no está uniformemente humedecido, no será eficiente para la transferencia de calor y masa.

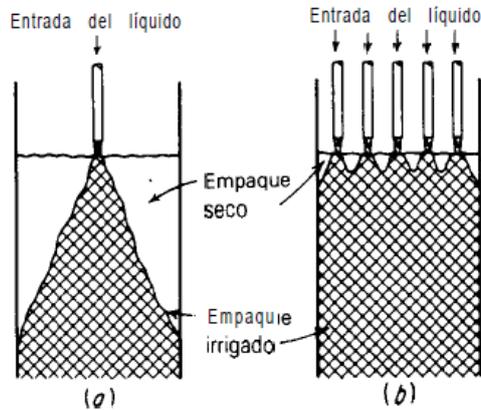
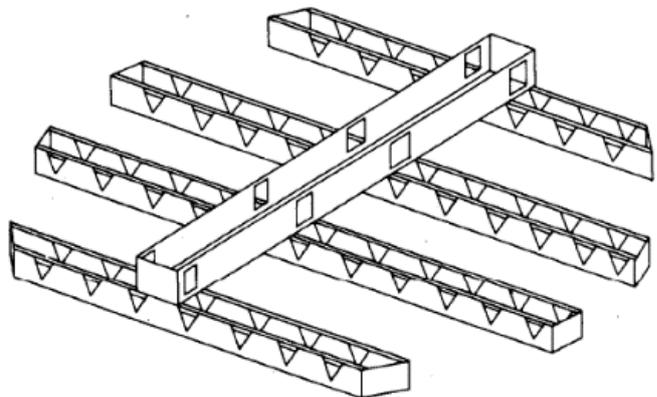


Figura 6.31 Distribución del líquido e irrigación del empaque: (a) inadecuada; (b) adecuada.

Se utiliza un distribuidor tipo vertedero de bandejas con perforaciones en V, el cual presenta características favorables para las condiciones de trabajos que se tienen establecidas. Ellas son:

- ✓ Insensibles al taponamiento.
- ✓ Capacidad para manejar grandes cantidades de líquido.
- ✓ Gran área abierta para el flujo del gas.



Generalmente se considera necesario proporcionar al menos cinco puntos de introducción del líquido por cada  $0.1 \text{ m}^2$  de sección transversal de la torre para columnas grandes de diámetro mayor a 1,2 m. Por lo tanto, para una columna de 1,9 m de diámetro, la cantidad de puntos de goteo que deberá tener el vertedero será de 142.

### 2.2.3. Lavador de gases

Como equipo complementario al condensador de mezcla, se plantea utilizar un lavador de gases tipo venturi para el tratamiento previo de los vahos.

Éstos equipos se utilizan para separar los sólidos en suspensión que viajan en la corriente gaseosa y que podrían generar obstrucciones en el empaque de la torre rellena.

En el lavador de gases comienza la transferencia de calor desde el vapor al líquido, por lo que se puede considerar que este equipo proporciona un factor de seguridad para la condensación completa de los vahos en el condensador de mezcla.

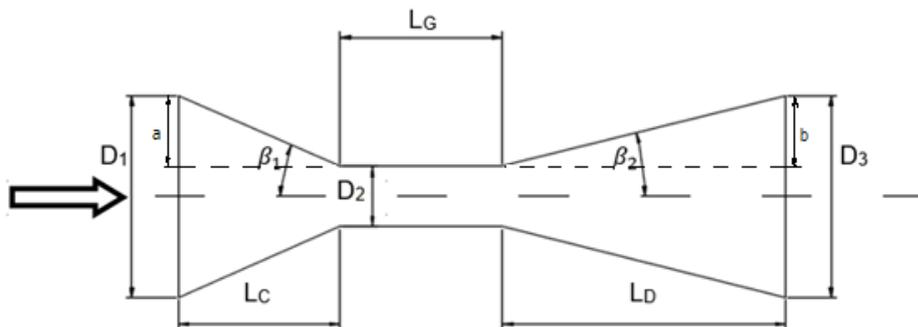
#### 2.2.3.1. Dimensionamiento del Venturi

##### Datos

- Caudal de gases:  $G = 2,47 \frac{m^3}{s}$
- Temperatura de los gases:  $T \cong 105 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow P = 1,22 \text{ bar (vapor saturado)}$

##### Hipótesis

- Para el cálculo del diámetro del conducto, tanto de entrada como de salida del venturi, se adopta una velocidad de circulación del gas de aproximadamente 10 m/s.
- Caída de presión a través del venturi:  $\Delta P_{venturi} \approx 12\%$
- Velocidad del gas en la garganta:  $V_G = 35 \text{ m/s}$
- Longitud de garganta:  $L_G = 400 \text{ m}$
- Ángulo de convergencia:  $\beta_1 = 30^\circ$
- Ángulo de divergencia:  $\beta_2 = 7^\circ$



##### Diámetro de entrada y salida

$$D_{1,3} = \sqrt{\frac{4 \times G}{\pi \times V_D}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,47 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 10 \text{ m/s}}} = 561 \text{ mm}$$

Se adopta un tubo comercial de 24" de acero inoxidable AISI 304L Sch 10 con las siguientes características:

$$\phi_{ext} = 609,60 \text{ mm}$$

$$e = 7,92 \text{ mm}$$

$$\phi_{int} = 593,76 \text{ mm}$$

Recalculando la velocidad:

$$V_D = \frac{4 \times 2,47 \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0.594 \text{ m})^2} = 8,90 \frac{m}{s}$$

Diámetro de garganta

$$D_G = \sqrt{\frac{4 \times G}{\pi \times V_G}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,47 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 35 \text{ m/s}}} = 300 \text{ mm}$$

Se adopta un tubo comercial de 12" de acero inoxidable AISI 304L Sch10 con las siguientes características:

$$\phi_{ext} = 304,8 \text{ mm}$$

$$e = 4,57 \text{ mm}$$

$$\phi_{int} = 295,7 \text{ mm}$$

Recalculando la velocidad:

$$V_G = \frac{4 \times 2,47 \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0.296 \text{ m})^2} = 35,9 \frac{m}{s}$$

Longitud de zona convergente

De la figura anterior se tiene que:

$$a = \frac{D_1}{2} - \frac{D_2}{2}$$

$$a = \frac{594 \text{ mm}}{2} - \frac{296 \text{ mm}}{2} = 150 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la longitud de la zona convergente se calcula de la siguiente manera:

$$L_c = \frac{a}{\tan(\beta_1)} = \frac{150 \text{ mm}}{\tan(30^\circ)} \cong 260 \text{ mm}$$

### Longitud de zona divergente

De la figura anterior se tiene que:

$$b = \frac{D_1}{2} - \frac{D_2}{2}$$

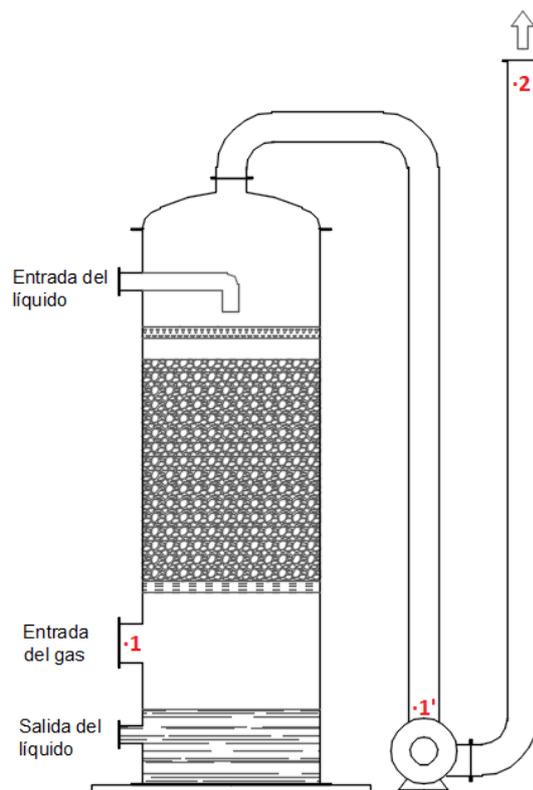
$$b = \frac{594 \text{ mm}}{2} - \frac{296 \text{ mm}}{2} = 150 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la longitud de la zona divergente se calcula de la siguiente manera:

$$L_D = \frac{b}{\tan(\beta_2)} = \frac{150 \text{ mm}}{\tan(7^\circ)} \cong 1250 \text{ mm}$$

### 2.2.4. Extractor de gases

Los gases que ingresan al equipo (aire+vapor), se extraen del mismo mediante un ventilador que aporta la energía necesaria para vencer las pérdidas de carga a través del equipo. El mismo está ubicado, como indica la siguiente figura, en la parte inferior de la torre para facilitar el mantenimiento del aparato.



### 2.2.4.1. Diámetro del conducto de salida

Sabiendo que los gases ingresan al condensador de mezcla a 100 °C y se retiran de éste a una temperatura cercana a 60 °C (logrando la condensación completa del vapor), se halla la densidad del aire a dicha temperatura para conocer el caudal de aire que circula por la chimenea.

Dada las condiciones del aire de entrada, tenemos:

$$\dot{m}_{aire} = 0,35 \frac{Kg}{s} = 1260 \frac{Kg}{h}$$

Volumen específico del aire (60 °C):  $p \times v = R \times T \rightarrow v = \frac{R \times T}{p}$

$$v_{1'} = \frac{0,287 \frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K} \times 333 K}{101,325 KPa} = 0,943 m^3/Kg$$

$$\rho_{1'} = \frac{1}{0,943 m^3/Kg} = 1,06 Kg/m^3$$

$$Q_{1'} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{1'}} = \frac{1260 \frac{Kg}{h}}{1,06 \frac{Kg}{m^3}} = 1190 \frac{m^3}{h} = 0,33 \frac{m^3}{s}$$

Adoptando una velocidad recomendada de 5 m/s para el flujo de aire en el conducto de salida, se calcula el diámetro de la chimenea:

$$\Phi_{chimenea} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{1'}}{\pi \times 5 m/s}}$$

$$\Phi_{chimenea} = \sqrt{\frac{4 \times 0,33 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 5 m/s}} = 0,29 m$$

Se adopta un tubo comercial de 12'' de acero inoxidable AISI 304L Sch10 con las siguientes características:

$$\Phi_{ext} = 323,85 mm$$

$$e = 4,57 mm$$

$$\Phi_{int} = 314,71 mm$$

Recalculando la velocidad en la chimenea:

$$V_{chimenea} = \frac{4 \times 0,33 \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0,315 m)^2} = 4,23 \frac{m}{s}$$

#### 2.2.4.2. Cálculo para la selección del ventilador

La caída de presión a través del lavador de gases no se considera para la selección de ventilador, ya que los gases entran y salen del mismo a una presión superior a la atmosférica considerada para el cálculo del condensador de mezcla.

Se plantea la ecuación de Bernoulli entre la entrada y la salida de la torre:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2 g_c} + \frac{Z_1 \cdot g}{g_c}} + W_{vent} = \cancel{\frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2 g_c} + \frac{Z_2 \cdot g}{g_c}} + h_{f_{1-2}}$$

De la ecuación de Bernoulli:

$$W_{vent} = P_{din_{1-2}} + h_{f_{torre}} + h_{f_{chimenea}}$$

#### Presión dinámica

$$P_{din_{1-2}} = \frac{v_2^2}{2 g_c} - \frac{v_1^2}{2 g_c}$$

$$P_{din_{1-2}} = \frac{(4,23 m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} - \frac{\left(0,90 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} = 0,87 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$\Delta P_{din_{1-2}} = \frac{\left(0,87 \frac{Kg \cdot m}{Kg}\right)}{1/\rho_{1'}} = 0,92 mmca$$

#### Caída de presión en la torre

Por cálculos anteriores, se tiene:

$$\Delta P_{torre} = 26,66 mmca$$

Caída de presión en la chimenea

Del tubo comercial seleccionado para la chimenea, se tienen las siguientes características:

- Diámetro interno:  $\phi_{int} \cong 12" = 314,71 \text{ mm}$
- Rugosidad relativa:  $\frac{\epsilon}{\phi} = 0,00015$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times \phi_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,06 \frac{Kg}{m^3} \times 4,23 \frac{m}{s} \times 0,315 \text{ m}}{2 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 70000$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\epsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (0,00015; 70000) = 0,02$$

Longitud equivalente chimenea:

- Tramo recto: 16 m
- Curva a 90°:  $3 \times (\phi = 12") \rightarrow 8 \text{ m}$

$$L_{eq} = 16 \text{ m} + 8 \text{ m} = 24 \text{ m}$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times gc \times \phi_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,02 \times 24 \text{ m} \times (4,23 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2} \times 0,315 \text{ m}} = 1,39 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$\Delta P_{chimenea} = \frac{\left(1,39 \frac{Kg \cdot m}{Kg}\right)}{1/\rho_{1'}} = 1,47 \text{ mmca}$$

Datos para la selección del ventilador

- Caída de presión:

$$\Delta P_T = 0,92 \text{ mmca} + 26,66 \text{ mmca} + 1,47 \text{ mmca}$$

$$\Delta P_T = 29,05 \text{ mmca}$$

- Caudal de aire a mover:

$$Q_{1'} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\rho_{1'}} = 1190 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cong 20 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**2.2.5. Rendimiento calorífico del condensador de mezcla**

Para conocer el aumento de temperatura que se logra a través del condensador de mezcla, se realiza un balance de energía entre el agua que sale del equipo y el agua proveniente de la salida del DAF.

Balance de energía

$$\dot{m}_A \times C_{p_{H_2O}} \times T_A + \dot{m}_B \times C_{p_{H_2O}} \times T_B = \dot{m}_T \times C_{p_{H_2O}} \times T_f$$

Despejando la temperatura final del agua:

$$T_f = \frac{\dot{m}_A \times C_{p_{H_2O}} \times T_A + \dot{m}_B \times C_{p_{H_2O}} \times T_B}{\dot{m}_T \times C_{p_{H_2O}}}$$

$$T_f = \frac{\left(84146,8 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 55 ^\circ\text{C}\right) + \left(99700 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 22 ^\circ\text{C}\right)}{183846,8 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times \frac{\text{kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$T_f = \frac{\left(4628074 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right) + \left(2193400 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right)}{183846,8 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$T_f = 37,1 ^\circ\text{C} \rightarrow 35 ^\circ\text{C}$$

Estimando una pérdida de temperatura de 2 °C a través del canal, se considera una temperatura de entrada a la pileta de 35 °C.

Se presenta un “Esquema Tentativo” de la propuesta en cuestión. (Ver “Sección 4.2.1.5 de Anexos Complementarios”)

## 2.3. PROPUESTA 3 – Acuocondensador e Intercambiador de Casco y Tubos

Se propone utilizar un intercambiador de casco y tubo para calefaccionar el efluente que ingresa a la pileta. El agua de efluente circulará por el interior de los tubos ya que se tiene un fácil acceso para realizar la limpieza de los mismos, y el agua caliente proveniente del acuocondensador lo hará por la carcasa.

### 2.3.1. Dimensionado del equipo (CE-E-01)

Con este equipo se busca calentar aproximadamente 12°C el agua de efluente que ingresa al biodigestor. El caudal de efluentes es de 100 m<sup>3</sup>/h a 22°C y el de agua proveniente de los acuocondensadores es de 70 m<sup>3</sup>/h a 60°C.

#### 2.3.1.1. Balance de energía

Realizando un balance de calor para el equipo se tiene que:

$$\dot{m}_e \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

Siendo:

- $\dot{m}_e$ : Caudal másico de efluente
- $\dot{m}_a$ : Caudal másico de agua caliente
- $c_p$ : Calor específico del agua
- $T_1; t_1$ : Temperatura de ingreso
- $T_2; t_2$ : Temperatura de salida

Donde la temperatura de salida del agua caliente será:

$$T_2 = 60^\circ\text{C} - \frac{100 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (34^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}{70 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_2 = 42,9^\circ\text{C}$$

La cantidad de calor que se debe transferir será:

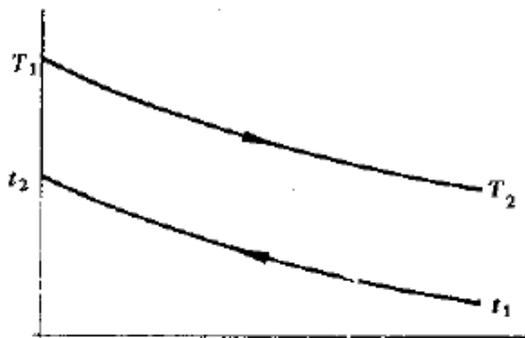
$$\dot{Q} = \dot{m}_e \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\dot{Q} = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (34^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 1.200.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Diferencia media logarítmica de temperaturas

Se calculará para una disposición en contracorriente y luego se afectará por un factor de corrección



$$DMLT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$DMLT = \frac{(60^\circ C - 34^\circ C) - (42,9^\circ C - 22^\circ C)}{\ln \frac{(60^\circ C - 34^\circ C)}{(42,9^\circ C - 22^\circ C)}}$$

$$DMLT = 23,36^\circ C$$

Factor de corrección

Debido a que en el equipo no se tiene una disposición totalmente a contracorriente se debe corregir con un factor. Adoptaremos una geometría de 1 paso en la carcasa y 2 o más en los tubos.

Este valor se obtiene de la figura del apéndice 1 del libro "Intercambiadores de calor" de Eduardo Cao (Ver "Sección 4.3.1.1 de Anexos Complementarios"), ingresando con los valores S y R:

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

Reemplazando:

$$S = \frac{34 - 22}{60 - 22} = 0,316$$

$$R = \frac{60 - 42,9}{34 - 22} = 1,425$$

Del gráfico se obtiene:

$$F_t = 0,92$$

Coefficiente de transferencia aproximado

Se obtendrá un valor aproximado para el coeficiente de la tabla del apéndice 20 del libro “Intercambiadores de calor” de Eduardo Cao. (Ver “Sección 4.3.1.2 de Anexos Complementarios”)

Se adopta el caso más desfavorable de 800 J/s.m<sup>2</sup>.K.

Valor del área aproximado

El área aproximada para transferir el calor es:

$$A' = \frac{Q}{U \cdot DMTL \cdot F_t}$$

$$A' = \frac{1.200.000 \frac{Kcal}{h}}{800 \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K} \times 0,86 \frac{Kcal \cdot s}{J \cdot h} \times 23,36 K \times 0,92}$$

$$A' = 81,15 m^2$$

**2.3.1.2. Número de tubos por haz**

Por el interior de los tubos circula un caudal de 100 m<sup>3</sup>/h.

Para obtener un coeficiente de transferencia de calor óptimo es conveniente utilizar diámetros de tubos pequeños. Esto implica la desventaja de que son más propensos a obstruirse por ensuciamiento. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se selecciona un tubo de 1 ½” Schedule 10 de acero inoxidable AISI 304 de dimensiones:

$$D_i = 42,8 mm$$

$$D_e = 48,3 mm$$

Se propone una velocidad de 1,5 m/s y se calcula el número de tubos en paralelo:

$$N_p = \frac{V}{A_t \cdot v}$$

Siendo:

- N<sub>p</sub>: Número de tubos en paralelo
- V: Caudal de agua

- v: velocidad de flujo
- A<sub>t</sub>: Área de flujo por tubo

$$N_p = \frac{100 \text{ m}^3/h * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\frac{\pi * (0,0428 \text{ m})^2}{4} * 1,5 \text{ m/s}}$$

$$N_p = 12,87$$

### 2.3.1.3. Número total de tubos

Se adopta una longitud de tubos de 6 metros ya que es la longitud comercial disponible, por lo que el número total de tubos deberá ser:

$$N = \frac{A'}{\pi \cdot D_o \cdot L}$$

$$N = \frac{81,15 \text{ m}^2}{\pi \times 0,0483 \text{ m} \times 6 \text{ m}}$$

$$N = 89,13$$

### 2.3.1.4. Número de pasos en los tubos

El número de pasos en los tubos deberá ser:

$$n = \frac{N}{N_p} = \frac{89}{13}$$

$$n = 6,8$$

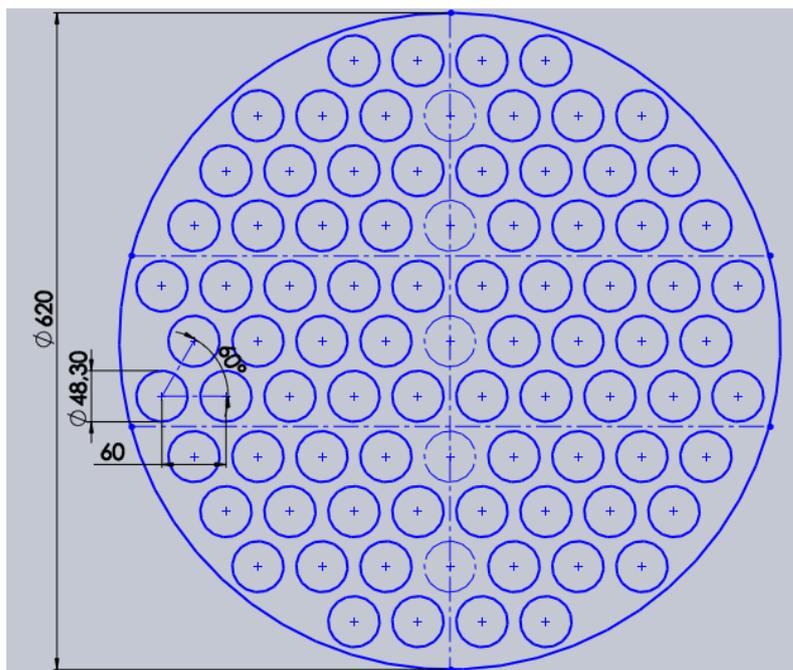
Se elige un total de 6 pasos en los tubos para obtener una construcción sencilla del equipo, una baja pérdida de carga y una buena área de intercambio.

Para mantener una buena velocidad de circulación se llega a un diseño que contará con 4 pasos de 13 tubos y 2 pasos de 14 tubos en el que se obtiene una distribución uniforme de los mismos en la carcasa, lo que hace un total de 80 tubos.

Los tubos quedan distribuidos en un arreglo triangular, con una separación de 60mm.

$$N_p = N_t/n$$

$$N_p = 80/6 = 13,33 \text{ tubos}$$



Las líneas punteadas delimitan cada paso, por la columna central de tubos no circulará fluido, pero se utilizará para separar y fijar los deflectores de flujo que están ubicados en la carcasa.

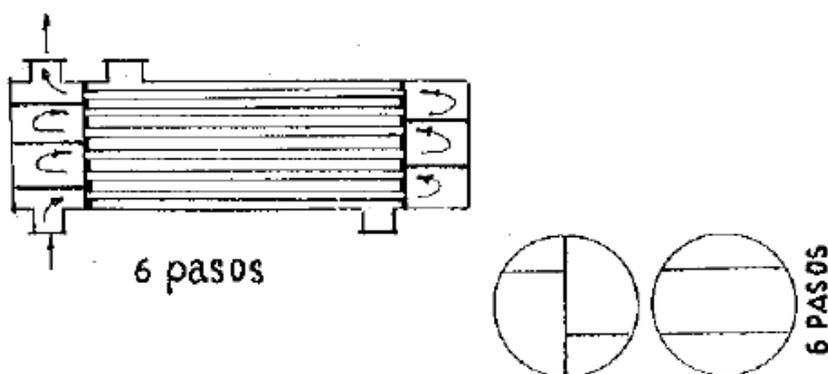
Se toma un haz de 13,33 tubos para recalcular la velocidad promedio.

$$v = \frac{V}{A_t \cdot N_p}$$

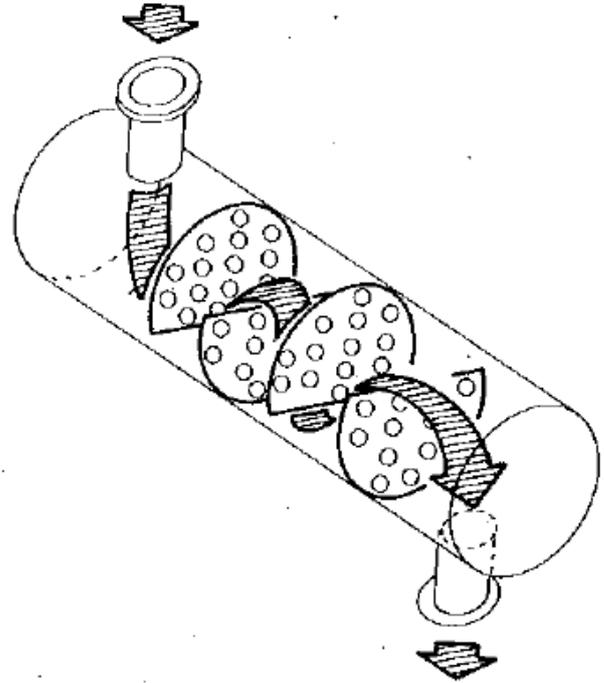
$$v = \frac{100 \text{ m}^3/h \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\frac{\pi * (0,0428 \text{ m})^2}{4} \times 13,33}$$

$$v = 1,45 \text{ m/s}$$

### Partición de los cabezales



Se adopta una carcasa de un paso por lo que tendríamos un equipo de configuración 1-6. Se elige un paso en la carcasa ya que resulta en una construcción más sencilla y económica y un aceptable factor de corrección de la DMLT (Diferencia media logarítmica de temperaturas) a contracorriente.



### 2.3.1.5. Área de intercambio real

Considerando una longitud de tubos comercial de 6 metros se calcula el área:

$$A = N_t \cdot L_t \cdot P_t$$

Siendo

- A: área de intercambio de los tubos
- $N_t$ : número total de tubos
- $L_t$ : longitud de tubos
- $P_t$ :  $D_e \cdot \pi$  = perímetro de intercambio

$$A = 80 * 6 \text{ m} * (\pi * 0,0483 \text{ m})$$

$$A = 72,83 \text{ m}^2$$

### 2.3.2. Verificación del equipo propuesto

#### 2.3.2.1. Coeficiente del lado de los tubos

Para el caso particular del agua a temperaturas moderadas circulando en régimen turbulento se sugiere la siguiente ecuación dimensional:

$$h_i = 1423 \times (1 + 0,0146 \cdot T) \times \frac{v^{0,8}}{D_i^{0,2}}$$

Siendo:

- $h_i$ : coeficiente de transmisión pelicular interno [ $\frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K}$ ]
- $T$ : temperatura media del líquido =  $\frac{t_1 + t_2}{2}$  [°C]
- $v$ : velocidad del fluido en el tubo [m/s]
- $D_i$ : diámetro interno de tubo [m]

Se adopta una temperatura de salida del agua de 34°C y se reemplazan valores:

$$h_i = 1423 \times [1 + 0,0146 \times (\frac{22^\circ C + 34^\circ C}{2})] \times \frac{(1,45 \text{ m/s})^{0,8}}{(0,0428 \text{ m})^{0,2}}$$

$$h_i = 5068,3 \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K}$$

Refiriéndolo al lado exterior de los tubos se tiene:

$$h_{io} = h_i \times \frac{D_i}{D_o}$$

$$h_{io} = 4385,2 \times \frac{0,0428 \text{ m}}{0,0483 \text{ m}}$$

$$h_{io} = 4491,14 \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K}$$

### 2.3.2.2. Pérdida de carga en los tubos

Es necesario conocer las pérdidas de carga dentro del equipo para la selección de bombas que impulsaran los fluidos en el intercambiador.

La caída de presión para fluidos que circulan por el lado de los tubos de un intercambiador puede considerarse como la suma de dos efectos:

- ✓ La pérdida de carga en los tubos
- ✓ La pérdida de carga producida por los cambios de dirección en los cabezales.

La pérdida de carga en los tubos se calcula a partir de la ecuación de Fanning:

$$\Delta P_t = 4 \cdot f \cdot n \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \frac{G_t^2}{2 \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^a$$

Donde el exponente “a” vale -0,14 para régimen turbulento y -0,25 para régimen laminar. Adoptamos  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \cong 1$

Siendo:

- $n$ : número de pasos
- $L$ : longitud de tubos
- $\rho$ : densidad del fluido =  $997 \frac{kg}{m^3}$  (agua a 25°C)
- $f$ : factor de fricción =  $0,0014 + \frac{0,125}{Re^{0,32}}$
- (Ec de Drew, Koo y Mc Adams para régimen turbulento)
- $Re$ : número de Reynolds =  $\frac{D_i \cdot G_t}{\mu}$
- $G_t$ : velocidad másica de flujo =  $\frac{W}{a_t}$
- $W$ : flujo másico [ $kg/s$ ]
- $a_t$ : área de flujo en los tubos =  $\frac{N_{th} \cdot \pi \cdot D_i^2}{4}$  [ $m^2$ ]
- $N_{th}$ : número de tubos por haz
- $D_i$ : Diámetro interno del tubo [ $m$ ]
- $\mu$ : Viscosidad del líquido =  $0,895 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$  (agua a 25°C)

Reemplazando:

$$a_t = \frac{13,33 \times \pi \times (0,0428 \text{ m})^2}{4} = 0,019 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{100 \text{ m}^3/\text{h} \times 997 \text{ kg}/\text{m}^3}{3600 \text{ s}/\text{h}} = 27,69 \text{ kg}/\text{s}$$

$$G_t = \frac{27,69 \text{ kg}/\text{s}}{0,019 \text{ m}^2} = 1457,4 \text{ kg}/\text{s.m}^2$$

$$R_e = \frac{0,0428 \text{ m} \times 1457,4 \text{ kg}/\text{s.m}^2}{0,895 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}}$$

$$R_e = 69694,7$$

Entonces:

$$f = 0,0014 + \frac{0,125}{69694,7^{0,32}} = 4,92 \times 10^{-3}$$

Los factores de fricción que se obtienen de la expresión anterior son para tubos lisos, por lo que algunos autores sugieren incrementarlo en un 20%.

$$f = 4,92 \times 10^{-3} \times 1,2 = 5,91 \times 10^{-3}$$

$$f = 5,91 \times 10^{-3}$$

Se tiene una pérdida de carga en tramos rectos de:

$$\Delta P_t = 4 \times (5,91 \times 10^{-3}) \times 6 \times \frac{6 \text{ m}}{0,0428 \text{ m}} \times \frac{(1457,4 \text{ kg}/\text{s.m}^2)^2}{2 \times 997 \text{ kg}/\text{m}^3}$$

$$\Delta P_t = 21180,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

La pérdida de carga correspondiente a los cambios de dirección que se producen en los cabezales de los intercambiadores multipaso, se pueden calcular como:

$$\Delta P_r = 4 \cdot n \cdot \frac{G_t^2}{2 \cdot \rho}$$

$$\Delta P_r = 4 \times 6 \times \frac{(1457,4 \text{ kg/s.m}^2)^2}{2 \times 997 \text{ kg/m}^3}$$

$$\Delta P_r = 25564,9 \frac{N}{m^2}$$

La pérdida de carga total se puede calcular entonces como:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$$

$$\Delta P_T = 21180,6 \frac{N}{m^2} + 25564,9 \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta P_T = 46745,5 \frac{N}{m^2}$$

### 2.3.2.3. Coeficiente del lado de la carcasa

Se calcula el coeficiente en el lado de la carcasa utilizando el método de Bell o de Delaware ya que los resultados se aproximan a la realidad.

Datos:

- Caudal de 70 m<sup>3</sup>
- Temperatura de 60 °C.

Los datos se correlacionan en función de un número de Reynolds definido como:

$$Re = \frac{W \cdot D_o}{S_m \cdot \mu}$$

Siendo:

- $W$ : caudal másico en la carcasa [ $kg/s$ ]
- $D_o$ : diámetro exterior de tubos [ $m$ ]
- $\mu$ : viscosidad =  $0,541 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$  (agua a 50°C)
- $S_m$ : área del flujo cruzado [ $m^2$ ]

Además:

- $S_m = (D_s - N_{CL} \cdot D_o) \cdot B$
- $D_s$ : diámetro de carcasa [m]
- $N_{CL}$ : número de tubos en la fila central
- $B$ : separación entre deflectores [m]

En cuanto a la separación entre deflectores, se recomienda tomar como mínimo una quinta parte del diámetro de la carcasa.

Se adoptan las siguientes características de carcasa:

$$D_s = 0,62 \text{ m}$$

$$N_{CL} = 9$$

$$B > \frac{0,62 \text{ m}}{5} = 0,125$$

$$B = 0,2 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$S_m = (0,62 \text{ m} - 9 \times 0,0483 \text{ m}) \times 0,2 \text{ m}$$

$$S_m = 0,037 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{70 \text{ m}^3/\text{h} \times 988 \text{ kg}/\text{m}^3}{3600 \text{ s}/\text{h}}$$

$$W = 19,21 \text{ kg}/\text{s}$$

Entonces:

$$R_e = \frac{19,21 \text{ kg}/\text{s} \times 0,0483 \text{ m}}{0,037 \text{ m}^2 \times (0,541 \times 10^{-3}) \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$R_e = 46352,75$$

Se obtiene el coeficiente de Colburn de la tabla del apéndice 23 del libro de Eduardo Cao (Ver “Sección 4.3.1.3 de Anexos Complementarios”)

$$J = a \cdot Re^b$$

Siendo  $a = 0,275$  y  $b = -0,38$  para un arreglo en triángulo, relación de paso sobre diámetro de 1,25 y  $Re > 3000$ .

$$J = 0,275 \times 46353^{-0,38}$$

$$J = 4,64 \times 10^{-3}$$

### Influencia del número de filas de tubos

En algunas fuentes, se aconseja simplemente adoptar  $X = 1$  para régimen turbulento.

$$X = 1$$

### Factor de corrección por pérdidas de By-pass

$$\xi_h = \exp \left[ -\alpha \cdot F_{BP} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{2N_s}{N_c}} \right) \right]$$

Siendo:

- $F_{BP}$ : fracción de bypass  $= \frac{S_{BP}}{S_m}$
- $N_s = 2$  = número de pares de dispositivos de sellado
- $N_c = 5$  = número de filas de tubos del crossflow
- si  $N_s > \frac{N_c}{2}$  adoptar  $\xi_h = 1$
- $\alpha = 1,35$  para régimen turbulento
- $S_{BP} = [D_s - (N_{CL} - 1) \cdot P_t - D_o] \cdot B$  = área de flujo by – pass

Reemplazando:

$$S_{BP} = [0,62 \text{ m} - (9 - 1) \times 0,06 \text{ m} - 0,0483 \text{ m}] \times 0,2 \text{ m}$$

$$S_{BP} = 0,018 \text{ m}^2$$

$$F_{BP} = \frac{0,018 \text{ m}^2}{0,037 \text{ m}^2}$$

$$F_{BP} = 0,486$$

$$\xi_h = \exp \left[ -1,35 \times 0,486 \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{2 \times 2}{5}} \right) \right]$$

$$\xi_h = 0,95$$

### Efecto de la ventana del baffle

$$\phi = 1 - r + 0,524 \times r^{0,32} \left( \frac{S_m}{S_w} \right)^{0,03}$$

Siendo:

$$r = \frac{\text{N}^\circ \text{ de tubos en la ventana}}{\text{N}^\circ \text{ total de tubos}} = \frac{N_{WT}}{N}$$

$S_w$  = área de flujo a través de la ventana

$$S_w = \pi \cdot \left( \frac{D_s}{2} \right)^2 \times \frac{\text{Å}}{360^\circ} - \sin \frac{\text{Å}}{2} \times \frac{D_s}{2} \times \left( \frac{D_s}{2} - BC \right) - N_{WT} \times \frac{\pi}{4} \times D_o^2$$

Donde:

- $\text{Å} = 128^\circ$  ángulo central
- $BC = 0,175 \text{ m}$  = corte del baffle

Reemplazando:

$$r = \frac{19}{80}$$

$$r = 0,238$$

$$S_w = \pi \times \left( \frac{0,62\text{m}}{2} \right)^2 \times \frac{128^\circ}{360^\circ} - \sin \frac{128^\circ}{2} \times \frac{0,62\text{m}}{2} \times \frac{0,62\text{m}}{2} - (0,175\text{m} - 19) \times \frac{\pi}{4} \times (0,0483\text{m})^2$$

$$S_w = 0,035 \text{ m}^2$$

$$\phi = 1 - 0,238 + 0,524 \times 0,238^{0,32} \times \left(\frac{0,037}{0,035}\right)^{0,03}$$

$$\phi = 1,09$$

### Efectos de las fugas

Debido a la falta de datos constructivos se adopta un rendimiento del 80%.

$$\frac{h_L}{h_{NL}} = 0,8$$

### Coeficiente del lado de la carcasa

Se puede obtener como:

$$h = \left[ j \cdot c \cdot G_m \cdot P_r^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \right] \cdot \left[ \frac{\phi \cdot \xi_h}{X} \cdot \frac{h_L}{h_{NL}} \right]$$

Siendo:

- $P_r = \text{número de Prandtl} = \frac{c \cdot \mu}{k}$
- $P_r = 3,56$  (para agua a 50°C)
- $G_m = \frac{W}{S_m} = \text{velocidad másica}$

$$G_m = \frac{19,21 \text{ kg/s}}{0,037 \text{ m}^2}$$

$$G_m = 519,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$c_p = 4181 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Consideramos el termino  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1$

$$h_0 = \left[ (4,64 \times 10^{-3}) \times 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 519,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \times 3,56^{-\frac{2}{3}} \right] \cdot \left[ \frac{1,09 \times 0,95}{1} \times 0,8 \right]$$

$$h_0 = 3583,03 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

### 2.3.2.4. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

Conociendo los coeficientes peliculares individuales y la resistencia de ensuciamiento, se puede calcular:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{io}} + R_f$$

Siendo:

- $R_f$ : resistencia de ensuciamiento
- $R_f = 0,0004 \frac{K.m^2}{W}$

Obtenida de la tabla del apéndice 22 del libro “Intercambiadores de calor” de Eduardo Cao, considerando: Agua lodosa o turbia con temperatura menor a 52°C y velocidad mayor a 1 m/s.

Para figuras y tablas citadas (Ver “Sección 4.3.1.4 de Anexos Complementarios”)

Reemplazando:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3583,03 \frac{J}{K.m^2.s}} + \frac{1}{4491,14 \frac{J}{s.m^2.K}} + 0,0004 \frac{K.m^2}{W}$$

$$\frac{1}{U} = 9,02 \times 10^{-4} \frac{K.m^2}{W}$$

$$U = 1108,65 \frac{J}{K.m^2.s} \times 0,86 \frac{Kcal.s}{h.J}$$

$$U = 953,4 \frac{Kcal}{K.m^2.h}$$

### 2.3.2.5. Cálculo de las pérdidas de carga en la carcasa

En este lado, el agua sufre muchos cambios de dirección y se obtiene una pérdida de carga que está compuesta por las producidas en las ventanas de los baffles y en las secciones de flujo cruzado.

#### Factor de fricción F

De la figura del apéndice 23 del libro “Intercambiadores de calor” de Eduardo Cao (Ver “Sección 4.3.1.5 de Anexos Complementarios”), se tiene:

$$\ln f = a + b. (\ln Re_m) + c. (\ln Re_m)^2 + d. (\ln Re_m)^3$$

Para un arreglo en triángulo con relación de paso sobre diámetro de 1,25 se tiene:

$$a = 5,293; b = -1,864; c = 0,1584; d = -0,00472$$

Entonces:

$$\ln f = 5,293 - 1,864 \times (\ln 46353) + 0,1584 \times (\ln 46353)^2 - 0,00472 \times (\ln 46353)^3$$

$$\ln f = -1,7449$$

$$f = 0,175$$

Corrección por fugas

$$\xi_{\Delta p} = \exp \left[ -\alpha \cdot F_{BP} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{2N_s}{N_c}} \right) \right]$$

Siendo:

$$\alpha = 4 \text{ (para régimen turbulento)}$$

$$\xi_{\Delta p} = \exp \left[ -4 \times 0,486 \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{2 \times 2}{5}} \right) \right]$$

$$\xi_{\Delta p} = 0,87$$

Pérdida de carga en un deflector sin fugas

La pérdida de carga correspondiente a una sección de flujo cruzado es (sin tener en cuenta la corrección por fugas).

$$\Delta p_{BP} = \frac{4 \cdot f \cdot N_c \cdot G_m^2}{2 \cdot \rho} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cdot \xi_{\Delta p}$$

Reemplazando:

$$\Delta p_{BP} = \frac{4 \times 0,175 \times 5 \times (519,19 \frac{kg}{m^2 \cdot s})^2}{2 \times 988 \frac{kg}{m^3}} \times 0,87$$

$$\Delta p_{BP} = 415,4 \frac{N}{m^2}$$

### Pérdida de carga en la ventana

Se define la velocidad  $V_z$  como el promedio geométrico de las velocidades en la ventana y en el flujo cruzado.

$$V_z = \sqrt{V_m \cdot V_w}$$

Siendo:

- $V_m$ : velocidad del fluido en flujo cruzado =  $\frac{G_m}{\rho} = \frac{W}{S_m \cdot \rho}$
- $V_w$ : velocidad del fluido en la ventana =  $\frac{G_w}{\rho} = \frac{W}{S_w \cdot \rho}$

Entonces:

$$V_z = \frac{W}{\rho \cdot \sqrt{S_m \cdot S_w}}$$

$$V_z = \frac{19,21 \text{ kg/s}}{988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \sqrt{0,037 \text{ m}^2 \times 0,035 \text{ m}^2}}$$

$$V_z = 0,54 \text{ m/s}$$

Para régimen turbulento la pérdida de carga en la ventana es:

$$\Delta p_{wt} = (2 + 0,6 N_w) \cdot \frac{\rho \cdot V_z^2}{2}$$

Siendo:

- $N_w$ : número efectivo de filas de tubos en la ventana =  $\frac{0,8 \cdot BC}{\sigma}$
- $\sigma$ : distancia entre filas de tubos medida en la dirección del flujo = 0,052 m

$$N_w = \frac{0,8 \times 0,175 \text{ m}}{0,052 \text{ m}} = 2,69$$

$$\Delta p_{wt} = (2 + 0,6 \times 2,69) \times \frac{988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0,54 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\Delta p_{wt} = 543,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

### Pérdida de carga total en la carcasa

La pérdida total del equipo se obtiene sumando todas las secciones de flujo cruzado y ventanas de la siguiente forma:

$$\Delta p_{total} = 2 \cdot \Delta p_{BP} \left( 1 + \frac{N_w}{N_c} \right) + [(N_B - 1) \cdot \Delta p_{BP} + N_B \cdot \Delta p_{wt}] \cdot \left( \frac{\Delta p_L}{\Delta p_{NL}} \right)$$

Siendo:

$$\frac{\Delta p_L}{\Delta p_{NL}}: \text{Corrección por fugas} = 1 \text{ (por falta de datos adoptamos este valor)}$$

$$N_B: \text{número de deflectores} = 29 \rightarrow \text{Se adopta } 28$$

Reemplazando:

$$\Delta p_{total} = 2 \times 415,4 \frac{N}{m^2} \left( 1 + \frac{2,69}{5} \right) + \left[ (28 - 1) \times 415,4 \frac{N}{m^2} + 28 \times 543,9 \frac{N}{m^2} \right]$$

$$\Delta p_{total} = 28682 \frac{N}{m^2}$$

### **2.3.2.6. Cálculo de bocas de entrada y salida de fluidos**

Estas se unirán a los tubos que transportan el fluido mediante bridas.

#### Bocas en la carcasa

Por la carcasa circula agua caliente con un caudal de 70 m<sup>3</sup>/h, las cuales se conectarán mediante bridas. Adoptando una velocidad de circulación de 1,5 m/s se puede calcular el diámetro necesario como:

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{70 \frac{m^3}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} \times 4}{1,5 \frac{m}{s} \times \pi}}$$

$$D = 0,1285 m$$

Se selecciona un diámetro comercial de 5" sch10 de dimensiones:

- $D_i = 134,5 \text{ mm}$
- $D_o = 141,3 \text{ mm}$

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D_i^2}{4}}$$

$$v = \frac{70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\pi \times \frac{(0,1345 \text{ m})^2}{4}} = 1,37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Bocas en el cabezal

Por los tubos circula agua de efluente con un caudal de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , si se adopta una velocidad de circulación de  $1,5 \text{ m/s}$  se puede calcular el diámetro necesario como:

$$D = \sqrt{\frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times 4}{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi}}$$

$$D = 0,1536 \text{ m}$$

Se selecciona un diámetro comercial de 6" sch10 de dimensiones:

- $D_i = 161,5 \text{ mm}$
- $D_o = 168,3 \text{ mm}$

$$v = \frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\pi \times \frac{(0,1615 \text{ m})^2}{4}} = 1,36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### **2.3.2.7. Cálculo térmico del equipo**

La capacidad de calor que se puede transferir está determinada por la ecuación:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot DMLT_{cc} \cdot F_t$$

Siendo:

- $\dot{Q}$ : Flujo de calor  $\left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$

- $U$ : coeficiente global de transmisión de calor  $\left[\frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}\right]$
- $A$ : área de intercambio del equipo  $[m^2]$
- $DMLT_{cc}$ : Diferencia media logarítmica de temperatura a contra corriente  $[^{\circ}C]$
- $F_t$ : Factor de corrección de la DMLT

Reemplazando:

$$\dot{Q} = 953,4 \frac{Kcal}{^{\circ}C.m^2.h} \times 72,83 m^2 \times 23,36 ^{\circ}C \times 0,92$$

$$\dot{Q} = 1.492.266 \frac{Kcal}{h}$$

### 2.3.2.8. Conclusión

Dado que el calor final entregado por el equipo es superior al necesario, el diseño del equipo verifica dado que:

$$\dot{Q}_{obtenida} = 1.492.266 \frac{Kcal}{h} > \dot{Q}_{Necesaria} = 1.200.000 \frac{Kcal}{h}$$

Se presenta un “Esquema Tentativo” de la propuesta en cuestión. (Ver “Sección 4.3.1.6 de Anexos Complementarios”)

## 2.4. Selección De Propuesta

### PROPUESTA 1 – Acuocondensador e Intercambiador de Placas

#### Ventajas y desventajas

##### Ventajas

- ✓ Son equipos muy compactos.
- ✓ Tienen un alto rendimiento, tal es este, que el intercambiador tiene un salto térmico que ronda los 33°C.
- ✓ Se puede calentar directamente el agua de faena, dado los batidores del equipo.

##### Desventajas

- ✓ Elevado costo de los equipos.
- ✓ Se debe hacer una inyección de vapor en el fluido, lo que demanda un consumo mayor de energía.

- ✓ Otra desventaja es que al elevar tanto la temperatura del fluido, para volver a ingresar al acuocondensador, se debe disminuir la temperatura del mismo por lo que se requiere instalar una torre de enfriamiento lo que provoca un aumento en el costo del proyecto.

## PROPUESTA 2 – Condensador de Mezcla

### *Ventajas y desventajas*

#### Ventajas

- ✓ La transferencia se realiza directamente desde el vapor proveniente de los vahos, al agua que ingresa a la pileta de efluentes, sin equipos intermedios que disminuyan la eficiencia.
- ✓ La mayor intimidad de contacto directo permite lograr coeficientes de transferencia de calor mayores que en los equipos tubulares usuales.
- ✓ Con un solo equipo se consigue, tanto el tratamiento de olores condensando los vapores y sub enfriándolos, como así también calentar el agua de la pileta de efluentes aumentando la producción de biogás.

#### Desventajas

- ✓ El diseño de este equipo está desarrollado para torres de destilación, pero no específicamente para transferencia de calor, por lo que no se asegura su correcto desempeño para nuestro propósito.
- ✓ Dadas las características del empaque de la torre la grasitud y suciedad que puede contener el agua de intercambio es posible que se produzca la obstrucción del equipo en un tiempo de trabajo breve, lo que provocaría paradas frecuentes.
- ✓ La limpieza del equipo es difícil de realizar ya que implica la extracción del empaque de la torre, lo que demanda un trabajo en altura que puede ser complicado de realizar generando riesgo de accidentes.

## PROPUESTA 3 - Acuocondensador e Intercambiador de Casco y Tubos

### *Ventajas y desventajas*

#### Ventajas

- ✓ Ofrecen buenos rendimientos.
- ✓ Se pueden fabricar o comprar uno de similares características.
- ✓ Bajo costo de construcción.
- ✓ Fácil mantenimiento.
- ✓ Facilidad de control.
- ✓ Se utilizan mucho en el tema en cuestión.

### Desventajas

- ✓ Tiene requerimientos espaciales elevados.
- ✓ Se requiere aislación, dadas sus considerables pérdidas de calor.
- ✓ Una unidad se puede utilizar solo para un trabajo.

### **Conclusión**

Luego de evaluar los pro y contras de todos los equipos se decidió optar por la “**Propuesta 3**”. Esto se debe principalmente a que existe la posibilidad de su construcción por lo que el costo no sería elevado además de la facilidad de operación y limpieza del equipo, que es muy preponderante a la hora de tomar la decisión dadas las condiciones en que debe operar el mismo. Por lo tanto, se realizarán los cálculos correspondientes para la fabricación del intercambiador de calor, valiéndonos de una biografía específica (Eduardo Cao) para el diseño de intercambiadores de calor.

## **2.5. Cálculo Mecánico Del Equipo Propuesto**

En esta sección se proporciona una breve descripción sobre los procedimientos de diseño que conforman el equipo.

### **2.5.1. Diseño de carcazas y cabezales**

El espesor mínimo “t” de la carcasa o envolvente cilíndrica sometida a presión interna “P”, debe ser la que resulte mayor por cálculo de esfuerzos circunferenciales y longitudinales. Se toma el mismo criterio para el cálculo de los cabezales.

#### Esfuerzo circunferencial

Cuando el espesor de la pared no sea mayor a la mitad del radio interno o cuando “P” no sea mayor a (0,385 SE):

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

#### Esfuerzo longitudinal

Cuando el espesor de la pared no sea mayor a la mitad del radio interno o cuando “P” no sea mayor a (1,25 SE):

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$$

Las ecuaciones anteriores obtenidas de la sección VIII, división I (UG-27) del ASME, no toman en cuenta el efecto de la corrosión, y sus términos son:

- $t$ : espesor mínimo de la pared [pulg]
- $P$ : presión interna de diseño [ $lb/pulg^2$ ]
- $P_o$ : presión de operación [ $lb/pulg^2$ ]
- $R = 12,2$  pulg = radio interno de la carcasa [pulg]
- $S$ : esfuerzo máximo permisible del material [ $lb/pulg^2$ ]
- $E$ : eficiencia de la junta o de soldadura

Además:

- $P = P_o + 30$   $lb/pulg^2$  si  $P_o \leq 300$   $lb/pulg^2$
- $P = 1,1 \times P_o$  si  $P_o > 300$   $lb/pulg^2$

La presión de operación es la suma de las pérdidas de carga del lado de la carcasa más la altura de columna de agua de la torre de enfriamiento.

$$P_o = 60 \text{ kPa} = 8,7 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P = 8,7 \text{ lb/pulg}^2 + 30 \text{ lb/pulg}^2 = 38,7 \text{ lb/pulg}^2$$

Se toma un  $S$  igual al 25% del esfuerzo máximo a la tensión del material:

$$S = 0,25 \times 60 \text{ kg/mm}^2$$

$$S = 15 \text{ kg/mm}^2 = 22044 \text{ lb/pulg}^2$$

$$E = 0,6$$

El coeficiente de soldadura  $E$ , se obtiene por tabla de la norma ASME sec. VIII (Ver "Sección 4.3.1.7 de Anexos Complementarios")

Reemplazando

Para:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{38,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 12,2 \text{ pulg}}{22044 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,6 \times 38,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}$$

$$t = 0,036 \text{ pulg} = 0,91 \text{ mm}$$

Para:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$$

$$t = \frac{38,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 12,2 \text{ pulg}}{2 \times 22044 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,4 \times 38,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}$$

$$t = 0,018 \text{ pulg} = 0,45 \text{ mm}$$

Para obtener el espesor mínimo, nos basaremos en las normas TEMA y se selecciona según el diámetro nominal por tabla. (Ver “Sección 4.3.1.8 de Anexos complementarios”)

Se adopta un espesor de chapa de 5/16 pulgadas (7,9 mm) para la carcasa y cabezales.

#### Perímetro de la envolvente

Es necesario conocer el perímetro de la envolvente para que al momento del cilindrado de la chapa se llegue al diámetro propuesto. La unión del mismo se realizará a través de un condón de soldadura.

$$p = \pi \times D_m$$

$$p = \text{perímetro de la envolvente}$$

$$D_m = D + t = \text{diámetro medio de la envolvente}$$

$$D_m = 0,62 \text{ m} + 0,008 \text{ m} = 0,628 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$p = \pi \times 0,628 \text{ m}$$

$$p = 1,973 \text{ m}$$

Se eligen 6 chapas de 2m de ancho por 1m de largo para tener un mínimo desperdicio.

|  |                       |         |                  |
|--|-----------------------|---------|------------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó: GP - 13/12/19 | Aprobó: | Página 49 de 106 |
|--|-----------------------|---------|------------------|

### 2.5.2. Diseño de Tapas

El diseño de tapas se hace de acuerdo a UG-32 y UG-33 del ASME, sección VIII, división I. Las mimas irán abulonadas a los cabezales del equipo.

- Por: Presión Interna, Tapa Plana, Bridada.

Se considera el empaque entre la carcasa y la tapa como una unión tipo “E” según tabla de la norma ASME sec. VIII. (Ver “Sección 4.3.1.9 de Anexos Complementarios”)

Para estos casos, el espesor mínimo se calcula por la siguiente ecuación:

$$t = d \sqrt{\frac{C'P}{SE} + \frac{1.9Wh_g}{SEd^3}}$$

Siendo:

- $t$ : espesor mínimo de la pared [pulg]
- $P$ : presión interna de diseño [ $lb/pulg^2$ ]
- $P_o$ : presión de operación [ $lb/pulg^2$ ]
- $d = 24$  pulg = diámetro medio del empaque [pulg]
- $S$ : esfuerzo máximo permisible del material [ $lb/pulg^2$ ]
- $E$ : eficiencia de la junta.
- $C'$ : factor que depende del método de union de la tapa.
- $h_g = 1$  pulg = brazo de palanca del empaque.
- $W$ : carga total en tornillos.

Se toma como presión de operación la presión de pérdida de carga en los tubos, siendo esta 50 kPa.

#### Datos

$$P_o = 50 \text{ kPa} = 7,25 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P = 7,25 \text{ lb/pulg}^2 + 30 \text{ lb/pulg}^2 = 37,25 \text{ lb/pulg}^2$$

$$S = 22044 \text{ lb/pulg}^2$$

$$E = 1$$

$$C' = 0,3$$

El factor C' se obtiene por tabla de la norma ASME sec. VIII para unión tipo E. (Ver "Sección 4.3.1.9 de Anexos Complementarios")

- A condiciones de operación, W es el mayor valor que resulte de las siguientes ecuaciones:

$$\checkmark W_{m1} = 0,785d^2P + 2\pi bdmP$$

$$\checkmark W_{m2} = \pi bdy$$

La mayor es la que se aplica.

Siendo:

- $b$ : ancho efectivo de contacto del empaque [pulg]
- $m$ : relación  $t_r/t_b$
- $t_r = 0,036 \text{ pulg} = \text{espesor requerido de la carcasa [pulg]}$
- $t_b = \frac{5}{16} \text{ pulg} = \text{espesor real de la carcasa [pulg]}$
- $y$ : carga máxima permisible en el empaque

### Datos

El ancho efectivo del empaque "b" se obtiene por tabla de la norma ASME sec. VIII para un empaque tipo "1a". (Ver "Sección 4.3.1.10 de Anexos Complementarios")

$$N = 1/2 \text{ pulg} (\text{TEMA recomienda } 1/2" \text{ para carcasa de mas de } 23")$$

$$b = N/2 = 0,25 \text{ pulg}$$

La carga máxima permisible "y" se obtiene por tabla de la norma ASME sec. VIII para un empaque de fibras vegetales. (Ver "Sección 4.3.1.11 de Anexos Complementarios")

$$y = 1100 \text{ lb/pulg}^2$$

$$m = \frac{t_r}{t_b} = \frac{0,036 \text{ pulg}}{0,312 \text{ pulg}} = 0,12$$

Reemplazando para:

$$W_{m1} = 0,785d^2P + 2\pi bdmP$$

$$W_{m1} = 0,785 \times (24")^2 \times 37,25 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} + 2\pi \times 0,25" \times 24" \times 0,12 \times 37,25 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$W_{m1} = 17011 \text{ lb}$$

Para:

$$W_{m2} = \pi bdy$$

$$W_{m2} = \pi \times 0,25" \times 24" \times 1100 \text{ lb/pulg}^2$$

$$W_{m2} = 20735 \text{ lb}$$

Se toma el mayor valor y se reemplaza para el cálculo del espesor:

$$t = 24" \sqrt{\frac{0,3 \times 37,25 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}{22044 \text{ lb/pulg}^2} + \frac{1,9 \times 20735 \text{ lb} \times 1"}{22044 \text{ lb/pulg}^2 \times (24")^3}}$$

$$t = 0,605 \text{ pulg} = 15,4 \text{ mm}$$

Considerando que la presión de diseño es mayor a la de operación, se selecciona un espesor comercial de 15 mm.

### 2.5.3. Placa portatubos

Considerando que el equipo tiene temperaturas y presiones de trabajo bajas, se adopta el espesor mínimo que recomienda la norma TEMA. Esta propone que, en intercambiadores de tipo comercial el espesor nunca debe ser menor a las tres cuartas partes del diámetro externo de los tubos. Las placas irán unidas a la carcasa que compone el equipo a través de un cordón de soldadura.

Entonces:

$$t = 3/4 \times D_o$$

$$t = \frac{3}{4} \times 48,3 \text{ mm}$$

$$t = 36,23 \text{ mm}$$

Se selecciona una chapa de 1,5 pulgadas (38,1 mm).

### 2.5.4. Verificación de espesor de tubos

El espesor mínimo del tubo sometido a la presión interna "P", debe ser el que resulte mayor por cálculo de esfuerzos circunferenciales (tangenciales) y longitudinales. Los mismos se unirán a la placa porta tubos a través de un cordón de soldadura.

Esfuerzo Circunferencial

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Esfuerzo Longitudinal

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$$

Cuando se trata de tubos sin costura, E=1; para tubos con costura, se considera esfuerzo máximo posible, para tubos que ya consideran la eficiencia de la junta.

Datos:

$$P = 37,25 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$R = 21,4 \text{ mm} = 0,84 \text{ pulg}$$

$$E = 1$$

$$S = 22044 \frac{lb}{pulg^2}$$

Reemplazando para esfuerzo circunferencial:

$$t = \frac{37,25 \frac{lb}{pulg^2} \times 0,84 \text{ pulg}}{22044 \frac{lb}{pulg^2} \times 1 - 0,6 \times 37,25 \frac{lb}{pulg^2}}$$

$$t = 0,0014 \text{ pulg} = 0,04 \text{ mm}$$

Para esfuerzo longitudinal:

$$t = \frac{37,25 \frac{lb}{pulg^2} \times 0,84 \text{ pulg}}{2 \times 22044 \frac{lb}{pulg^2} \times 1 + 0,4 \times 37,25 \frac{lb}{pulg^2}}$$

$$t = 0,0007 \text{ pulg} = 0,02 \text{ mm}$$

El espesor seleccionado de 2,75 verifica.

### 2.5.5. Espesor de deflectores

Se selecciona el espesor en base a las normas TEMA y se elige de tabla según el diámetro nominal y la separación de deflectores. Para figuras y tablas citadas (Ver "Sección 4.3.1.12 de Anexos Complementarios")

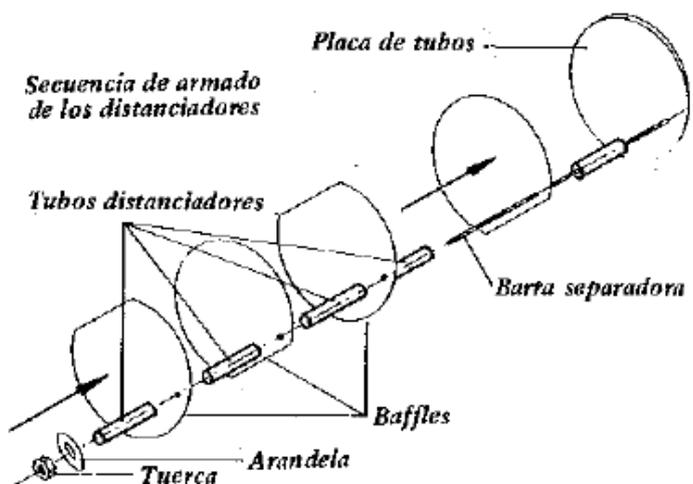
Se tiene una separación de deflectores de 200 mm que equivale a 8 pulgadas aproximadamente, obteniendo un total de 28 deflectores. (Ver "Sección 2.3.2)

$$t = 3/16" = 4,76 \text{ mm}$$

El espesor es de 3/16" por lo que se adopta un espesor de 5 mm.

### 2.5.6. Barras separadoras

Los deflectores se deben mantener de modo firme para evitar daños por vibración. Para su fijación se suelen utilizar barras separadoras, que recorren longitudinalmente el intercambiador con uno de sus extremos roscados en una de las placas portatubos. En estas barras se enhebran trozos de tubo que actúan como separadores para los deflectores, como se muestra a continuación.



Los deflectores deben estar perforados de modo que pasen las barras, pero no así los segmentos de tubo.

La cantidad mínima de barras a utilizar están definidas por las normas TEMA y depende del diámetro de la carcasa, la cual se determina con la siguiente tabla. (Ver "Sección 4.3.1.13 de Anexos Complementarios")

Por cuestiones constructivas en lugar de 6, se utilizarán 5 barras de 10 mm de diámetro y segmentos de tubo de las mismas dimensiones que los utilizados en el intercambio de calor en las posiciones centrales ya que estos tubos no se pueden aprovechar por la disposición de los pasos como se indican en los planos de los deflectores.

### 2.5.7. Soportes

Se colocarán dos soportes tipo montura con placas de apoyo como los que se muestran en la imagen.

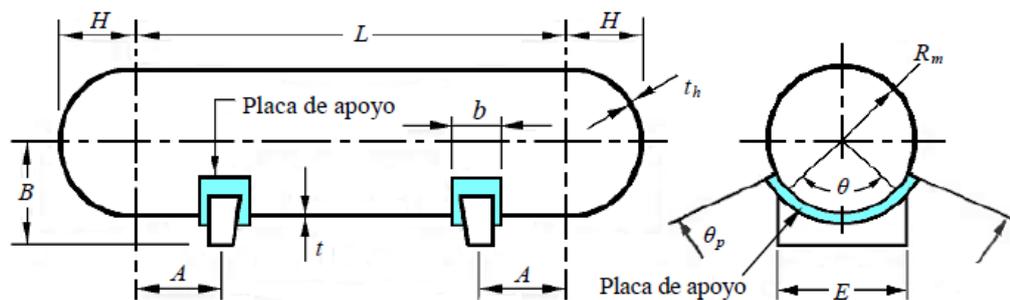


Figura 14: Recipiente de presión horizontal, apoyado en dos soportes tipo montura

Para recipientes largos y de espesores relativamente grandes, la ubicación conveniente es aquella donde la tensión nominal debida a los pesos en los soportes es similar a la existente en el centro del recipiente, es decir cuando los momentos  $M_1$  y  $M_2$  indicados en la figura son iguales. Esto ocurre cuando  $a = 0,2071 \times L$ , siendo  $L$  la longitud del recipiente.

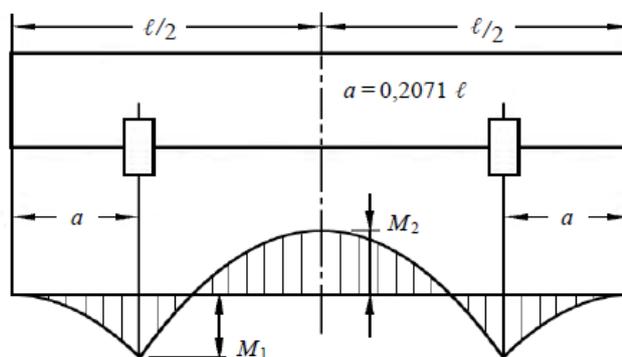


Figura 15: Ubicación óptima de los soportes en un recipiente de presión horizontal largo

Adoptaremos la distancia entre el centro de la montura al extremo del intercambiador del 20% de la longitud total.

$$a = 0,2 \times 6 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$$

Los soportes contarán con una placa de apoyo del mismo espesor que la carcasa, los cuales se unirán a los soportes y carcasa del equipo a través de un cordón de soldadura.

El ángulo de apoyo de la carcasa con los soportes debe ser mayor a 120°.

### 2.5.8. Bulones de tapa

El TEMA en RCB-11, recomienda que el diámetro mínimo de pernos debe ser de 1/2" para intercambiadores tipo R, de 5/8" para el tipo B y de 1/2" para el tipo C.

Se seleccionan pernos de 1/2" para el intercambiador de tipo C.

#### Espaciamiento entre pernos

El espaciamiento máximo recomendado entre centros de pernos está dado por la siguiente ecuación:

$$B_{max} = 2d_B + \frac{6t}{(m + 0,5)}$$

Siendo:

- $B_{max}$ : *espaciamiento máximo entre pernos [pulg]*
- $d_B = 0,5 \text{ pulg}$  = *diámetro nominal de pernos [pulg]*
- $t = 0,59 \text{ pulg}$  = *espesor de la brida [pulg]*
- $m = 1,75$  = *factor de asentamiento del empaque*

Reemplazando:

$$B_{max} = 2 \times 0,5 \text{ pulg} + \frac{6 \times 0,59 \text{ pulg}}{(1,75 + 0,5)}$$

$$B_{max} = 2,57 \text{ pulg}$$

#### Cantidad de pernos

Se determina la cantidad mínima de pernos con la ecuación:

$$n = \frac{2\pi \cdot r_p}{B_{max}}$$

Siendo:

- $n$ : cantidad necesaria de pernos
- $r_p$ : radio de la circunferencia donde se ubican los pernos [pulg]
- $r_p = 355 \text{ mm} = 13,98 \text{ pulg}$

Reemplazando:

$$n = \frac{2\pi \times 13,98}{2,57} = 34,17$$

Se seleccionan 34 pernos de ½" para el abulonado de cada tapa.

### 3. CÁLCULO PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO (CE-T-01)

Dado que el intercambiador de casco y tubo no transfiere todas las calorías al agua de faena las cuales son proporcionadas por los acucondensadores, se deberá instalar una torre de enfriamiento para reducir la temperatura del agua del circuito de enfriamiento y así eliminar las calorías sobrantes.

De los cálculos obtenidos en la ("Sección 2.3.2.7. – Calculo térmico del equipo" y "Sección 1.2.1. Datos para la selección de equipos"), se procede a calcular la torre de enfriamiento afectando el rendimiento de los equipos por un 80%.

Datos:

- Caudal:  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$
- Calorías proporcionadas por los acucondensadores:

$$\dot{Q} = \left( 2.280.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} + 758100 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right) \times 0,8$$

$$\dot{Q} = 2.430.480 \text{ Kcal/h}$$

- Calorías absorbidas por el intercambiador:  $\dot{Q} = 1.492.266 \text{ Kcal/h}$
- Calorías restantes a retirar:

$$\dot{Q}_r = 2.430.480 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} - 1.492.266 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_r = 938214 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Datos para la selección de la torre

- Caudal de trabajo:  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$
- Carga térmica:  $\dot{Q} = 938214 \text{ Kcal/h}$

#### 4. CÁLCULO PARA PILETA DE ENFRIAMIENTO (CE-TK-01)

La pileta de enfriamiento será la encargada de almacenar el agua fría proveniente de la torre de enfriamiento. También se espera que el agua al tener un tiempo de permanencia en el tanque, logre disminuir aún más su temperatura.

Para cumplir con dicho propósito se utilizará un “Tanque Australiano”, el cual se calcula a continuación.

Datos

- Consumo de agua:  $70 \text{ m}^3/\text{h}$
- Porcentaje de agua evaporada por hora de la torre: 4%
- Hora de funcionamiento: 10 hs.
- Días de funcionamiento: 6 días/semana.

Nota: Los cálculos se hacen pensando en tener q reponer agua al tanque una vez a la semana.

$$Vol = \left( 70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 4\% \right) \times 60\text{h}$$

$$Vol = 168 \text{ m}^3$$

La selección se realiza en base al volumen calculado de  $168\text{m}^3$ , seleccionando el tanque inmediato superior.

#### 5. CÁLCULOS PARA EQUIPOS DE BOMBEO

##### 5.1. Circuito De Efluente O De Faena (CE-P-01)

Se aplica la ecuación de Bernoulli para hallar el trabajo de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho}} + \cancel{\frac{v_1^2}{2 \times g_c}} + \frac{z_1 \times g}{g_c} + W_b = \cancel{\frac{P_2}{\rho}} + \cancel{\frac{v_2^2}{2 \times g_c}} + \frac{z_2 \times g}{g_c} + h_f$$

### Hipótesis

- Presión de entrada y salida atmosférica.
- Densidad constante (No hay intercambio de calor)
- Velocidad de entrada:  $v_1 = 0 \text{ m/s}$
- Cota de aspiración:  $z_1 = 2 \text{ m}$
- Velocidad de salida:  $v_2 = 1,5 \text{ m/s}$
- Cota de descarga:  $z_2 = 1,5 \text{ m}$

#### **5.1.1.1. Cálculo de tubería de impulsión (CE-TA-02)**

Se calcula la tubería por la cual circulará el agua proveniente de la salida del DAF hasta ingresar al intercambiador de calor.

### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $22 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de bombeo:  $130 \text{ m}$
- Densidad a  $22^\circ\text{C}$ :  $997 \text{ Kg/m}^3$
- Viscosidad a  $22^\circ\text{C}$ :  $1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

#### **5.1.1.2. Cálculo del diámetro económico de la tubería**

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m/s}]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{100 \text{ m}^3/\text{h}}{1,5 \text{ m/s}}} = 153,5 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 160 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 6,2 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 147,6 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{100 \text{ m}^3/h}{\left(\frac{147,6 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 5.1.1.3. Cálculo de pérdida de carga

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,1662 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \cong 268436$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{147,6 \text{ mm}} = 1,01 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1,01 \times 10^{-6}; 268436) = 0,015$$

Longitud equivalente tramo de descarga:

- Tramo recto: 130 m
- Válvula globo: 1 × (ϕ = 6") → 55 m
- Codo a 90°: 8 × (ϕ = 6") → 35 m

$$L_{eq} = 130 \text{ m} + 55 \text{ m} + 35 \text{ m}$$

$$L_{eq} = 220 \text{ m}$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times gc \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,015 \times 220 \text{ m} \times (1,62 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2} \times 0,147 \text{ m}} = 3,34 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

La pérdida de carga total será igual a la pérdida de carga del tramo de tubería de impulsión más la pérdida de carga propia del intercambiador de calor en los tubos:

$$h_{f_T} = 3,34 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}} + 4,8 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$h_{f_T} = 8,1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

#### 5.1.1.4. Cálculo del trabajo de la bomba

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo de la bomba, se tiene:

$$W_b = \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{(z_2 - z_1) \times g}{g_c} + h_f$$

$$W_b = \frac{(1,62 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}} + \frac{(1,5 \text{ m} - 2 \text{ m}) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}} + 8,1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$W_b = 7,73 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

#### 5.1.1.5. Cálculo del tramo de aspiración (CE-TA-01)

También, a través de la siguiente expresión, se calcula el valor de NPSH (carga neta de aspiración positiva):

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} \pm \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

Donde:

- $P^\circ$ : presión del vapor de líquido a la temperatura de trabajo
- $P_1$ : presión del fluido
- $z$ : diferencia de altura entre el nivel de líquido y la aspiración de la bomba (se toma 2 metros de altura positiva)

### 5.1.1.6. Pérdida de carga

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 100 \text{ m}^3/h$
- Temperatura del agua:  $22 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de aspiración:  $75 \text{ m}$
- Densidad a  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $997 \text{ Kg/m}^3$

#### Hipótesis

- Velocidad del fluido:  $v = 0,9 \text{ m/s}$

### 5.1.1.7. Cálculo del diámetro económico

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/h]}{v [\text{m/s}]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{100 \text{ m}^3/h}{0,9 \text{ m/s}}} = 198 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 200 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 7,7 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 184,6 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{100 \text{ m}^3/h}{\left(\frac{184,6 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 1,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{kg}{m^3} \times 1 \frac{m}{s} \times 0,184 m}{1 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 183448$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015 mm}{184,6 mm} = 8,1 \times 10^{-6}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (8,1 \times 10^{-6}; 183448) = 0,016$$

Longitud equivalente tramo de aspiración:

- Longitud de tramo recto: 75 m
- Válvula exclusiva: 1 × (ϕ = 8") → 8 m
- Codo a 90°: 6 × (ϕ = 8") → 5 m

$$Leq = 75 m + 8 m + 5 m$$

$$Leq = 88 m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times Leq \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,016 \times 88 m \times (1 m/s)^2}{2 \times 9,81 N/K\vec{g} \times 0,184 m} = 0,39 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} + \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

$$NPSH = \frac{(101325 - 3169) N/m^2}{9,81 \frac{N}{K\vec{g}} \times 997 \frac{Kg}{m^3}} + 2 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg} - 0,39 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

$$NPSH = 11,6 mca$$

### 5.1.1.8. Datos para la selección de la bomba

- Caudal:  $Q = 100 \text{ m}^3/h$
- Trabajo de bomba:  $W_b = 7,73 \frac{\text{Kg}\cdot\text{m}}{\text{Kg}}$
- NPSH disponible:  $NPSH = 11,6 \text{ mca}$

## 5.2. Circuito De Enfriamiento

En este punto se calculará tres bombas, una para la línea de vísceras, otra para la línea de plumas y una tercera para alimentar la torre de enfriamiento.

### 5.2.1. Línea de vísceras (CE-P-02)

Se aplica la ecuación de Bernoulli para hallar el trabajo de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2 \times g_c} + \frac{z_1 \times g}{g_c}} + W_b = \cancel{\frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{z_2 \times g}{g_c}} + h_f$$

### Hipótesis

- Presión de entrada y salida atmosférica.
- Densidad constante (No hay intercambio de calor)
- Velocidad de entrada:  $v_1 = 0 \text{ m/s}$
- Cota de aspiración:  $z_1 = 1,5 \text{ m}$
- Velocidad de salida:  $v_2 = 1,5 \text{ m/s}$
- Cota de descarga:  $z_2 = 3 \text{ m}$

### 5.2.1.1. Cálculo de tubería de impulsión (CE-TA-04)

Se calcula la tubería por la cual circulará el agua proveniente de la salida de la pileta de enfriamiento hasta ingresar a la torre de enfriamiento.

### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 52 \text{ m}^3/h$
- Temperatura del agua:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Densidad a  $^\circ$ :  $997 \text{ Kg/m}^3$
- Distancia de bombeo:  $20 \text{ m}$
- Viscosidad a  $^\circ$ :  $1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

### 5.2.1.2. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [m^3/h]}{v [m/s]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{52 m^3/h}{1,5 m/s}} = 110,7 mm$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 125 mm$
- Espesor:  $e = 4,8 mm$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 115,4 mm$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0.0015 mm$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{52 m^3/h}{\left(\frac{115,4 mm}{18,8}\right)^2} = 1,38 \frac{m}{s}$$

### 5.2.1.3. Cálculo de pérdida de carga

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{kg}{m^3} \times 1,38 \frac{m}{s} \times 0,115 m}{1 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 158223$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015 mm}{115,4 mm} = 1,3 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1,3 \times 10^{-5}; 158223) = 0.016$$

Longitud equivalente tramo de descarga:

- Tramo recto: 20 m
  - Válvula globo: 3 × (∅ = 5") → 137m
  - Unión T: 3 × (∅ = 5") → 27m
  - Codo a 90°: 10 × (∅ = 5") → 37 m
- $$L_{eq} = 20m + 137m + 27m + 37m$$

$$L_{eq} = 221m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,016 \times 221m \times (1,38m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2} \times 0,115m} = 3 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

La pérdida de carga total será igual a la pérdida de carga del tramo de tubería de impulsión más la pérdida de carga propia del intercambiador de calor en la carcasa y la del acucondensador de la línea de vísceras:

$$h_{f_T} = 3 \frac{Kg \cdot m}{Kg} + 2,93 \frac{Kg \cdot m}{Kg} + 3,4 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

$$h_{f_T} = 9,33 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

#### 5.2.1.4. Cálculo del trabajo de la bomba

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo de la bomba, se tiene:

$$W_b = \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{(z_2 - z_1) \times g}{g_c} + h_{f_T}$$

$$W_b = \frac{1,38(m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + \frac{(3 - 1,5) \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + 9,33 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

$$W_b = 12,4 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

### 5.2.1.5. Cálculo del tramo de aspiración (CE-TA-02)

También, a través de la siguiente expresión, se calcula el valor de NPSH (carga neta de aspiración positiva):

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} \pm \frac{z \times g}{g_c} - h_{fasp}$$

Donde:

- $P^\circ$ : presión del vapor de líquido a la temperatura de trabajo
- $P_1$ : presión del fluido
- $z$ : diferencia de altura entre el nivel de líquido y la aspiración de la bomba

### 5.2.1.6. Pérdida de carga

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 52 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de aspiración:  $15 \text{ m}$
- Densidad a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $997 \text{ Kg}/\text{m}^3$

#### Hipótesis

- Velocidad del fluido:  $v = 0,9 \text{ m}/\text{s}$

### 5.2.1.7. Cálculo del diámetro económico

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m}/\text{s}]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{52 \text{ m}^3/\text{h}}{0,9 \text{ m}/\text{s}}} = 143 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 160 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 6,2 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 147,8 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{52 \text{ m}^3/h}{\left(\frac{148 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 0,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,84 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,148\text{m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \cong 123947$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015\text{mm}}{148\text{mm}} = 1 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1 \times 10^{-5}; 123947) = 0,0175$$

Longitud equivalente tramo de aspiración:

- Longitud de tramo recto: 15m
- Válvula esclusa: 1 × (ϕ = 6") → 1m
- Codo a 90°: 2 × (ϕ = 6") → 11 m

$$Leq = 15\text{m} + 1\text{m} + 11\text{m}$$

$$Leq = 27\text{m}$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times Leq \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,0175 \times 27\text{m} \times (0,84 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ N/K}\vec{g} \times 0,148\text{m}} = 0,11 \frac{\text{K}\vec{g} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

Entonces:

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} + \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

$$NPSH = \frac{(101325 - 3169) \text{ N/m}^2}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{Kg}} \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} + 1,5 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}} - 0,11 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$NPSH = 11,4 \text{ mca}$$

#### 5.2.1.8. Datos para la selección de la bomba

- Caudal:  $Q = 52 \text{ m}^3/\text{h}$
- Trabajo de bomba:  $W_b = 12,4 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$
- NPSH disponible:  $NPSH = 11,4 \text{ mca}$

#### 5.2.2. Línea de plumas (CE-P-03)

Se aplica la ecuación de Bernoulli para hallar el trabajo de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho}} + \cancel{\frac{v_1^2}{2 \times g_c}} + \frac{z_1 \times g}{g_c} + W_b = \cancel{\frac{P_2}{\rho}} + \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{z_2 \times g}{g_c} + h_f$$

#### Hipótesis

- Presión de entrada y salida atmosférica.
- Densidad constante (No hay intercambio de calor)
- Velocidad de entrada:  $v_1 = 0 \text{ m/s}$
- Cota de aspiración:  $z_1 = 1,5 \text{ m}$
- Velocidad de salida:  $v_2 = 1,5 \text{ m/s}$
- Cota de descarga:  $z_2 = 3 \text{ m}$

#### 5.2.2.1. Cálculo de tubería de impulsión (CE-TA-05)

Se calcula la tubería por la cual circulará el agua proveniente de la salida de la pileta de enfriamiento hasta ingresar a la torre de enfriamiento.

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 18 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

- Densidad a °:  $997 \text{Kg}/\text{m}^3$
- Distancia de bombeo:  $20 \text{ m}$
- Viscosidad a °:  $1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

### 5.2.2.2. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m}/\text{s}]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{18 \text{ m}^3/\text{h}}{1,5 \text{ m}/\text{s}}} = 65,12 \text{mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver “Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios”), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 90 \text{mm}$
- Espesor:  $e = 3,5 \text{mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 83 \text{mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$

Nota: se adoptó un diámetro mayor por una cuestión de simplicidad a la hora de unir el tubo con el resto de la instalación.

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{18 \text{ m}^3/\text{h}}{\left(\frac{83 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 0,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 5.2.2.3. Cálculo de pérdida de carga

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,92 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,083 \text{m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}} \cong 76131$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\varnothing} = \frac{0,0015 \text{mm}}{83 \text{mm}} = 1,8 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1,8 \times 10^{-5}; 73131) = 0.019$$

Longitud equivalente tramo de descarga:

- Tramo recto: 20 m
- Válvula globo: 3 × (ϕ = 4") → 95m
- Codo a 90°: 8 × (ϕ = 4") → 24 m
- Unión T: 3 × (ϕ = 5") → 27m
- Codo a 90°: 2 × (ϕ = 5") → 7,3 m

$$L_{eq} = 20m + 95m + 24m + 27m + 7,3m$$

$$L_{eq} = 173,3m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0.019 \times 173m \times (0,92m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2} \times 0.083m} = 1,7 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

La pérdida de carga total será igual a la pérdida de carga del tramo de tubería de impulsión más la pérdida de carga propia del intercambiador de calor en la carcasa y la del acucondensador de la línea de vísceras:

$$h_{f_T} = 1,7 \frac{Kg \cdot m}{Kg} + 2,93 \frac{Kg \cdot m}{Kg} + 3,4 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

$$h_{f_T} = 8 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

#### 5.2.2.4. Cálculo del trabajo de la bomba

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo de la bomba, se tiene:

$$W_b = \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{(z_2 - z_1) \times g}{g_c} + h_{f_T}$$

$$W_b = \frac{0,92(m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + \frac{(3 - 1,5) \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + 8 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

$$W_b = 9,6 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

### 5.2.2.5. Cálculo del tramo de aspiración (CE-TA-05)

También, a través de la siguiente expresión, se calcula el valor de NPSH (carga neta de aspiración positiva):

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} \pm \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

Donde:

- $P^\circ$ : presión del vapor de líquido a la temperatura de trabajo
- $P_1$ : presión del fluido
- $z$ : diferencia de altura entre el nivel de líquido y la aspiración de la bomba

### 5.2.2.6. Pérdida de carga

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 18 \text{ m}^3/h$
- Temperatura del agua:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de aspiración:  $15 \text{ m}$
- Densidad a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $997 \text{ Kg/m}^3$

#### Hipótesis

- Velocidad del fluido:  $v = 0,9 \text{ m/s}$

### 5.2.2.7. Cálculo del diámetro económico

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [m^3/h]}{v [m/s]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{18 \text{ m}^3/h}{0,9 \text{ m/s}}} = 84 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 90 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 3,5 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 83 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,083\text{m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \cong 74475$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015\text{mm}}{83\text{mm}} = 1,8 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1,8 \times 10^{-5}; 74475) = 0,019$$

Longitud equivalente tramo de aspiración:

- Longitud de tramo recto:  $15\text{m}$
- Válvula esclusa:  $1 \times (\phi = 4") \rightarrow 0,8\text{m}$
- Codo a  $90^\circ$ :  $2 \times (\phi = 4") \rightarrow 6 \text{ m}$

$$Leq = 15\text{m} + 0.8\text{m} + 6\text{m}$$

$$Leq = 22\text{m}$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times Leq \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0.019 \times 22m \times (0,9 m/s)^2}{2 \times 9.81 N/K\vec{g} \times 0.083m} = 0,21 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} + \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

$$NPSH = \frac{(101325 - 3169) N/m^2}{9,81 \frac{N}{K\vec{g}} \times 997 \frac{Kg}{m^3}} + 1,5 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg} - 0,21 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

$$NPSH = 11,3 mca$$

#### 5.2.2.8. Datos para la selección de la bomba

- Caudal:  $Q = 18 m^3/h$
- Trabajo de bomba:  $W_b = 10 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$
- NPSH disponible:  $NPSH = 11,3 mca$

#### 5.2.3. Salida torre de enfriamiento (CE-P-04)

Dado que la torre cuenta con un medidor de nivel en el tanque de reposición el cual es controlado por un PLC se instalará, junto con la bomba a calcular, un variador de frecuencia para operar de manera eficiente.

Se aplica la ecuación de Bernoulli para hallar el trabajo de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2 \times g_c} + \frac{z_1 \times g}{g_c}} + W_b = \cancel{\frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{z_2 \times g}{g_c}} + h_f$$

#### Hipótesis

- Presión de entrada y salida atmosférica.
- Densidad constante (No hay intercambio de calor)
- Velocidad de entrada:  $v_1 = 0 m/s$
- Cota de aspiración:  $z_1 = 0,5 m$
- Velocidad de salida:  $v_2 = 1,5 m/s$
- Cota de descarga:  $z_2 = 1,5 m$

### 5.2.3.1. Cálculo de tubería de impulsión (CE-TA-04)

Se calcula la tubería por la cual circulará el agua proveniente de la torre que ingresará a la pileta de enfriamiento.

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $43 \text{ }^\circ\text{C}$
- Densidad a  $^\circ$ :  $990 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Distancia de bombeo:  $9 \text{ m}$
- Viscosidad a  $^\circ$ :  $1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

### 5.2.3.2. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m}/\text{s}]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{70 \text{ m}^3/\text{h}}{1,5 \text{ m}/\text{s}}} = 128,4 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 125 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 4,8 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 115,4 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{70 \text{ m}^3/\text{h}}{\left(\frac{115,4 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 1,86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 5.2.3.3. Cálculo de pérdida de carga

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{990 \frac{kg}{m^3} \times 1,86 \frac{m}{s} \times 0,115m}{1 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 211761$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015mm}{115,4mm} = 1,3 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1,3 \times 10^{-5}; 211761) = 0.0155$$

Longitud equivalente tramo de descarga:

- Tramo recto: 9m
- Codo a 90°: 3 × (ϕ = 5") → 11m

$$L_{eq} = 9m + 11m$$

$$L_{eq} = 20m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0.0155 \times 20m \times (1,86m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2} \times 0.115m} = 0,47 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

### 5.2.3.4. Cálculo del trabajo de la bomba

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo de la bomba, se tiene:

$$W_b = \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + \frac{(z_2 - z_1) \times g}{g_c} + h_f$$

$$W_b = \frac{1.86(m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + \frac{(1,5 - 0,5) \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}} + 0,47 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

$$W_b = 1,65 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

### 5.2.3.5. Cálculo del tramo de aspiración (CE-TA-02)

También, a través de la siguiente expresión, se calcula el valor de NPSH (carga neta de aspiración positiva):

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} \pm \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

Donde:

- $P^\circ$ : presión del vapor de líquido a la temperatura de trabajo
- $P_1$ : presión del fluido
- $z$ : diferencia de altura entre el nivel de líquido y la aspiración de la bomba

### 5.2.3.6. Pérdida de carga

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 70 \text{ m}^3/h$
- Temperatura del agua:  $43 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de aspiración:  $1,5 \text{ m}$
- Densidad a  $43 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $990 \text{ Kg/m}^3$

#### Hipótesis

- Velocidad del fluido:  $v = 0,9 \text{ m/s}$

### 5.2.3.7. Cálculo del diámetro económico

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q [m^3/h]}{v [m/s]}}$$

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{70 \text{ m}^3/h}{0,9 \text{ m/s}}} = 165,8 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 160 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 6,2 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 147,2 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{70 \text{ m}^3/h}{\left(\frac{147,6 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 1,13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{990 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,13 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,148\text{m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \cong 165568$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015\text{mm}}{147,6\text{mm}} = 1 \times 10^{-5}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (1 \times 10^{-5}; 165568) = 0,016$$

Longitud equivalente tramo de aspiración:

- Longitud de tramo recto:  $1,5\text{m}$
- Válvula esclusa:  $1 \times (\phi = 6") \rightarrow 1,2\text{m}$
- Codo a  $90^\circ$ :  $2 \times (\phi = 6") \rightarrow 4,2 \text{ m}$

$$Leq = 1,5\text{m} + 1,2\text{m} + 4,2\text{m}$$

$$Leq = 7\text{m}$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times Leq \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0.016 \times 7m \times (1,13 m/s)^2}{2 \times 9.81 N/K\vec{g} \times 0.148m} = 0,05 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} + \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

$$NPSH = \frac{(101325 - 8704) N/m^2}{9,81 \frac{N}{K\vec{g}} \times 990 \frac{Kg}{m^3}} + 0,5 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg} - 0,05 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

$$NPSH = 10 mca$$

#### 5.2.3.8. Datos para la selección de la bomba

- Caudal:  $Q = 70 m^3/h$
- Trabajo de bomba:  $W_b = 1,65 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$
- NPSH disponible:  $NPSH = 10 mca$

### 5.3. Circuito De Recirculación Del Biodigestor (RB-P-05)

En el circuito de recirculación se opta por recircular el 20% del volumen total de la pileta que conforma el biodigestor. Dicho esto, si el volumen es de 10000 m<sup>3</sup> se obtiene un caudal a recircular de 2000 m<sup>3</sup>/día.

Se aplica la ecuación de Bernoulli para hallar el trabajo de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho}} + \cancel{\frac{v_1^2}{2 \times g_c}} + \frac{z_1 \times g}{g_c} + W_b = \cancel{\frac{P_2}{\rho}} + \cancel{\frac{v_2^2}{2 \times g_c}} + \cancel{\frac{z_2 \times g}{g_c}} + h_f$$

#### Hipótesis

- Presión de entrada y salida atmosférica.
- Densidad constante (No hay intercambio de calor)
- Velocidad de entrada:  $v_1 = 0$

- Cota de aspiración:  $z_1 = -2,5 \text{ m}$
- Velocidad de salida:  $v_2 = 1,5 \text{ m/s}$
- Cota de descarga:  $z_2 = 0 \text{ m}$

### 5.3.1.1. Cálculo de tubería de impulsión (RB-TA-06)

Se calcula la tubería por la cual circulará el agua proveniente de la salida de la pileta de efluentes hasta ingresar al intercambiador de calor.

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de bombeo:  $125 \text{ m}$
- Densidad a  $25^\circ$ :  $995,7 \text{ Kg/m}^3$
- Viscosidad a  $30^\circ$ :  $0,798 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

### 5.3.1.2. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m/s}]}}$$

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{0,9 \text{ m/s}}} = 217 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 250 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 9,6 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 230,8 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{\left(\frac{230,8 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 1,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 5.3.1.3. Cálculo de pérdida de carga

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{995,7 \frac{kg}{m^3} \times 1,33 \frac{m}{s} \times 0,231 m}{0,798 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 387717$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015 mm}{230,8 mm} = 6,5 \times 10^{-6}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (6,5 \times 10^{-6}; 387717) = 0.014$$

Longitud equivalente tramo de descarga:

- Tramo recto: 125 m
- Codo a 90°: 3 × (ϕ = 10") → 20 m

$$L_{eq} = 125 m + 20m$$

$$L_{eq} = 145 m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times L_{eq} \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,014 \times 145 m \times (1,33 m/s)^2}{2 \times 9,81 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2} \times 0,231 m} = 0,8 \frac{Kg \cdot m}{Kg}$$

### 5.3.1.4. Cálculo del trabajo de la bomba

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo de la bomba, se tiene:

$$W_b = \frac{v_2^2}{2 \times g_c} - \frac{z_1 \times g}{g_c} + h_f$$

$$W_b = \frac{(1,33 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}} + \frac{2,5 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}} + 0,8 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$W_b = 3,4 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

### 5.3.1.5. Cálculo del tramo de aspiración (RB-TA-06)

También, a través de la siguiente expresión, se calcula el valor de NPSH (carga neta de aspiración positiva):

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} \pm \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

Donde:

- $P^\circ$ : presión del vapor de líquido a la temperatura de trabajo
- $P_1$ : presión del fluido
- $z$ : diferencia de altura entre el nivel de líquido y la aspiración de la bomba

### 5.3.1.6. Pérdida de carga

#### Datos

- Caudal volumétrico:  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura del agua:  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- Distancia de aspiración:  $2,5 \text{ m}$
- Densidad a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $995,7 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Velocidad del fluido:  $v = 1,33 \text{ m/s}$

### 5.3.1.7. Cálculo del diámetro económico

Se utilizará el mismo diámetro que en la impulsión el cual es, por lo cual se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las mismas características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 250 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 9,6 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 230,8 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{995,7 \frac{kg}{m^3} \times 1,33 \frac{m}{s} \times 0,231 m}{0,798 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 387717$$

Rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0,0015 mm}{230,8 mm} = 6,5 \times 10^{-6}$$

Por diagrama de Moody, ingresando con la Rugosidad Relativa y con el Número de Reynolds:

$$F \rightarrow (\varepsilon/\phi; Re)$$

$$F \rightarrow (6,5 \times 10^{-6}; 387717) = 0.014$$

Longitud equivalente tramo de aspiración:

- Longitud de tramo recto: 1,5 m
- Válvula de retención:  $1 \times (\phi = 10") \rightarrow 18 m$

$$Leq = 1,5 m + 18 m$$

$$Leq = 20 m$$

Ecuación Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{F \times Leq \times (v^2)}{2 \times g_c \times D_{int}}$$

$$h_f = \frac{0,014 \times 20 m \times (1,33 m/s)^2}{2 \times 9,81 N/K\vec{g} \times 0,231 m} = 0,11 \frac{K\vec{g} \cdot m}{Kg}$$

Entonces:

$$NPSH = \frac{P_1 - P^\circ}{\rho} - \frac{z \times g}{g_c} - h_{f_{asp}}$$

$$NPSH = \frac{(101325 - 4246) \text{ N/m}^2}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{Kg} \cdot \vec{g}} \times 995,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} - \frac{2 \text{ Kg} \cdot \vec{m}}{\text{Kg}} - 0,11 \frac{\text{Kg} \cdot \vec{m}}{\text{Kg}}$$

$$NPSH = 7,3 \text{ mca}$$

### 5.3.1.8. Datos para la selección de la bomba

- Caudal:  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Trabajo de bomba:  $W_b = 3,4 \frac{\text{Kg} \cdot \vec{m}}{\text{Kg}}$
- NPSH disponible:  $NPSH = 873 \text{ mca}$

## 6. CÁLCULO TÉRMICO DEL BIODIGESTOR

### 6.1. Pérdida De Calor En La Pileta

La pileta cubierta perderá calor a través de la membrana superior, el piso y las paredes de la misma, pero se calcula sólo el calor que pierde por la membrana superior por conducción y convección. No se tiene en cuenta la pérdida de calor en el piso y paredes, debido a que es una pileta enterrada y la tierra posee una muy baja difusividad térmica.

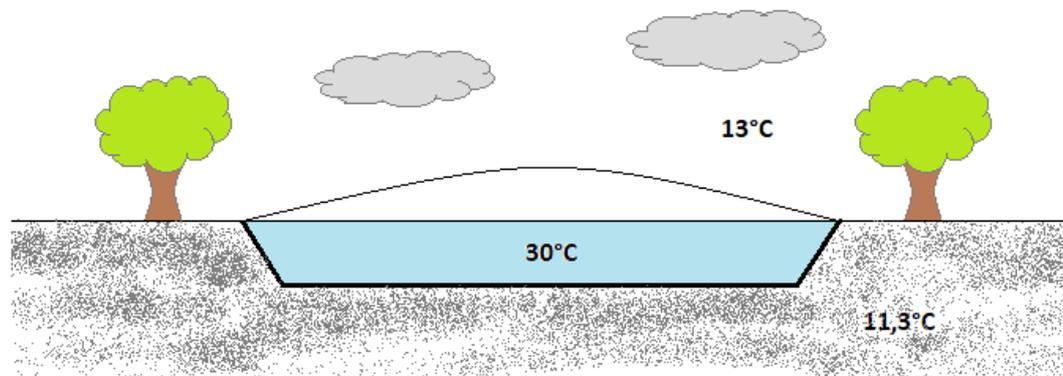
#### 6.1.1. Pérdida de calor por la membrana

Utilizamos la fórmula:

$$\sum Q_i = S_i \times K_i \times \Delta T_i$$

Siendo:

- Q: Flujo de calor a través de la superficie [Kcal / h]
- S: Superficie de transferencia [m<sup>2</sup>]
- K: Coeficiente global de transferencia [Kcal / h.m<sup>2</sup>.°C]
- ΔT: Variación de temperatura [°C]



Diferencias de temperaturas entre el biodigestor y su entorno

Se utiliza para los cálculos los datos proporcionados por la página de <https://es.weatherspark.com/>.

#### Cálculo del diferencial de temperatura

Tomaremos la temperatura promedio del mes de julio de 13°C ya que es la situación más desfavorable, con una temperatura del agua de 30°C. (Para utilizadas ver “Sección 4.5.1.1 de Anexos Complementarios”)

$$\Delta T = 30^{\circ}C - 13^{\circ}C$$

$$\Delta T = 17^{\circ}C$$

#### Cálculo del coeficiente K:

Se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_o} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i}$$

Siendo:

- $h_o$ : Coeficiente pelicular de transmisión por convección exterior
- $h_i$ : Coeficiente pelicular de transmisión por convección interior
- $e$ : Espesor del material
- $\lambda$ : Conductividad térmica del material

Coeficientes peliculares.

El coeficiente pelicular exterior depende de la velocidad del viento de la zona, se toma el promedio mensual de la velocidad del viento y obtiene de la siguiente figura. (Ver “Sección 4.5.1.2 de Anexos Complementarios”)

Tomaremos el valor para el mes de julio, debido a que es el más desfavorable por bajas temperaturas.

$$v = 4 \frac{m}{s}$$

El coeficiente pelicular se obtiene según el criterio extraído de la tabla de la ASHRAE Handbook. (Ver “Sección 4.5.1.3 de Anexos Complementarios”)

$$h_o = 6,7 + 2,8 \times v \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$h_o = 6,7 + 2,8 * 4 \frac{m}{s}$$

$$h_o = 17,9 \frac{W}{m^2 K} \times 0,86 \frac{Kcal}{W \cdot h}$$

$$h_o = 15,4 \frac{Kcal}{h \cdot m^2 K}$$

Para el coeficiente pelicular interior adoptamos una velocidad interna del gas de 1m/s.

Entonces se utiliza la fórmula:

$$h_i = 9 + 0,7 * v \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$h_i = 9 + 0,7 * 1 \frac{m}{s}$$

$$h_i = 9,7 \frac{W}{m^2 K} \times 0,86 \frac{Kcal}{W \cdot h}$$

$$h_i = 8,34 \frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot K}$$

Superficie de intercambio

La membrana superior posee unas dimensiones de 50 metros de ancho por 100 metros de largo.

$$S = 50 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 5000 \text{ m}^2$$

Espesor del material

La membrana posee un espesor de 2 mm

$$e = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

Conductividad térmica del material

La membrana está formada de PVC con una conductividad de:

$$\lambda = 0,16 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \times 0,86 \frac{\text{Kcal}}{\text{W} \cdot \text{h}} = 0,14 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Se reemplazan los valores:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_o} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{15,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,002 \text{ m}}{0,14 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{8,34 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}}$$

$$\frac{1}{K} = 0,2 \frac{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{Kcal}}$$

$$K = 5 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

La pérdida de calor es:

$$\sum Q_i = S_i \times K_i \times \Delta T_i$$

$$\dot{Q} = 5000 \text{ m}^2 \times 5 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \times 17^\circ\text{C} = 425000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

La pérdida total en un día será:

$$\dot{Q} = 425000 \frac{Kcal}{h} \times 24 h = 10.200.000 \frac{Kcal}{dia}$$

$$\dot{Q} = 42.636.000 \frac{Kj}{dia}$$

### 6.1.2. Calentamiento por radiación solar

Para estimar el calentamiento por radiación solar, tomamos valores promedio de la irradiación mensual en el mes de junio los cuales se detallan en la siguiente figura. (Ver "Sección 4.5.1.4 de Anexos Complementarios")

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \eta \times Superficie \times I$$

$$\dot{Q} = 50\% \times 5000m^2 \times 2,7 \frac{KWh}{m^2 \cdot dia}$$

$$\dot{Q} = 6750 \frac{KWh}{dia}$$

$$\dot{Q} = 24.300.000 \frac{Kj}{dia}$$

### 6.2. Calor Entregado Por El Intercambiador

El calor entregado por el intercambiador al agua que ingresa al mismo fue calculado en el punto 2.3.2. – Verificación del equipo propuesto, suponiendo un rendimiento del 90% se tiene que:

$$\dot{Q} = 1.492.266 \frac{Kcal}{h} \times 0.9 \cong 1.343.039 \frac{Kcal}{h}$$

Entonces la temperatura del agua de ingreso al biodigestor será de:

$$\dot{Q} = ma \times CP \times (T2 - T1)$$

$$T2 = \frac{\dot{Q}}{ma \times CP} + T1$$

$$T2 = \frac{1.343.039 \frac{Kcal}{h}}{100.000 Kg/h \times 1 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}} + 22^\circ C$$

$$T2 = 35,4^\circ C$$

La cantidad neta de calor aportado al biodigestor será la diferencia del calor que entra menos el que sale, es decir:

$$\dot{Q} = (\dot{m}a_{Entrante} \times CP \times T^\circ_{Ent}) - (\dot{m}a_{Saleinte} \times CP \times T^\circ_{Sal})$$

$$\dot{Q} = (\dot{m}a \times CP) \times (T^\circ_{Ent} - T^\circ_{Sal})$$

$$\dot{Q} = \frac{1000m^3}{dia} \times 1 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \times (35,4 - 30)^\circ C$$

$$\dot{Q} = 5.400.000 \frac{Kcal}{dia} \cong 22.572.000 \frac{Kj}{dia}$$

### 6.3. Calor Total Aportado Al Biodigestor

Sumando y restando todos los valores obtenidos en los puntos anteriores, se obtiene que el calor diario que se aporta al biodigestor es:

$$\dot{Q} = 22.572.000 \frac{Kj}{dia} + 24.300.000 \frac{Kj}{dia} - 42.636.000 \frac{Kj}{dia}$$

$$\dot{Q} = 4.236.000 \frac{Kj}{dia}$$

## 7. CÁLCULO DE PLANTA EXTRACTORA DE GAS

Por medio de ensayos recientes con la ayuda de un biodigestor de prueba se determinó el potencial de generación de biogás, el cual es de aproximadamente 2000 m<sup>3</sup>/día. (La tabla se adjunta en "Sección 9.2")

Esta producción diaria será consumida durante las 10 horas de trabajo de la planta. Datos que se utilizarán para la selección de los equipos de la planta que componen la planta, como lo son filtros, caudalímetro, etc.

### 7.1. Cálculo de tubería de transporte de biogás

Para calcular el diámetro de la tubería de biogás, se deben tener presentes los siguientes cálculos:

|  |                       |         |                  |
|--|-----------------------|---------|------------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó: GP - 13/12/19 | Aprobó: | Página 89 de 106 |
|--|-----------------------|---------|------------------|

La densidad del fluido en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT), está dada por:

$$\rho_N \left( \frac{kg}{Nm^3} \right) = \%CH_4 \cdot 0,72 + \%CO_2 \cdot 1,95 + \%N_2 \cdot 1,25 + \%H_2O_{vap} \cdot 1,05$$

La composición del Nitrógeno y del vapor de agua es despreciable, por lo tanto:

$$\rho_N = 0,67 \cdot 0,72 + 0,33 \cdot 1,95 = 1,13 \frac{kg}{Nm^3}$$

Considerando una temperatura de 30 °C en el interior del digestor y una presión interna de 10 mbar, la densidad normalizada se transforma en densidad real mediante la ley de los gases ideales:

$$\rho = \rho_N \cdot \frac{T_N}{T} \cdot \frac{P}{P_N}$$

$$\rho = 1,21 \frac{kg}{Nm^3} \times \frac{273 K}{303 K} \times \frac{1,023}{1,013} = 1,02 \frac{kg}{m^3}$$

La viscosidad dinámica del biogás en condiciones normales de temperatura y presión es:

$$\mu_N = 1,28 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m \cdot s}$$

### 7.1.1. Cálculo de la tubería de extracción (EB-TG-01)

Siendo el caudal normalizado de biogás de 2000 m<sup>3</sup>/día, sumando un factor de seguridad a los fines del cálculo de un 25% más de caudal y asumiendo que la planta opera 10 horas diaria, se tiene:

$$Q_N = \frac{2000}{10} + \frac{2000 \times 0,25}{10} = 250 \frac{m^3}{h}$$

El caudal normalizado se transforma en caudal efectivo mediante la ley de los gases ideales:

$$Q = Q_N \cdot \frac{P_N}{T_N} \cdot \frac{T}{P}$$

$$Q = 250 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1,013}{273} \cdot \frac{303}{1,023} = 275 \frac{m^3}{h}$$

### 7.1.1.1. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{Q \text{ [m}^3\text{/h]}}{v \text{ [m/s]}}}$$

Dadas las bajas presiones en el digestor, se debe disminuir la pérdida de carga en tuberías de manera que el biogás logre llegar adecuadamente a la instalación de acondicionamiento y presurización de biogás. Por lo tanto, se adoptando una velocidad recomendada de 10 m/s en tramos largos.

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{275 \text{ m}^3\text{/h}}{10 \text{ m/s}}} = 98,6 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 125 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 11,4 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 102,2 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{275 \text{ m}^3\text{/h}}{\left(\frac{102,2 \text{ mm}}{18.8}\right)^2} = 9,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 7.1.1.2. Cálculo de pérdida de carga

Se verifica el régimen del fluido mediante el Número de Reynolds, el cual debe cumplir con un régimen de flujo turbulento. ( $Re > 4000$ )

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,31 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,1022 \text{ m}}{1,28 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 76000 > 4000$$

Con los datos obtenidos anteriormente, se calcula la pérdida de carga, mediante la fórmula de Blasius:

$$\text{Pérdida de carga} \left( \frac{\text{mbar}}{\text{m}} \right) = 5 \times 10^6 \cdot 0,354^{(2-n)} \cdot \rho_N^{(1-n)} \cdot \mu_N^n \cdot \frac{T}{T_N} \cdot \frac{P_N}{P} \cdot \frac{Q_N^{(2-n)}}{D^{(5-n)}}$$

Donde:

- $n = 0,25$
- $\rho_N$ : Densidad del fluido en Kg/Nm<sup>3</sup>
- $\mu_N$ : Viscosidad dinámica del fluido en CNPT en Kg/ms
- $T$ : Temperatura absoluta del fluido en K
- $T_N$ : Temperatura absoluta normal 273K
- $P$ : Presión absoluta del fluido (mbar)
- $P_N$ : Presión absoluta normal (1,013 mbar)
- $Q_N$ : Caudal de referencia en CNPT en Nm<sup>3</sup>/h
- $D$ : diámetro de la tubería (mm)

$$PDC = 5 \times 10^6 \times 0,354^{1,75} \times 1,13^{0,75} \times (1,28 \times 10^{-5})^{0,25} \times \frac{303}{273} \times \frac{1,013}{1,023} \times \frac{250^{1,75}}{102,2^{4,75}}$$

$$PDC = 0,27 \text{ mbar/m}$$

Considerando una longitud equivalente de 20 metros desde el digestor hasta la planta de extracción, se tiene una caída de presión total de:

$$\Delta P = 0,27 \frac{\text{mbar}}{\text{m}} \times 20 \text{ m} = 5,4 \text{ mbar}$$

### 7.1.2. Tubería de interconexión de equipos (EB-TG-02)

Para realizar la conexión de los equipos que conforman la planta de extracción y acondicionamiento de biogás, se toma un diámetro de tubería conveniente en cuanto a disponibilidad de accesorios y diámetro de entrada y salida de equipos.

Por lo tanto, selecciona un tubo comercial de la marca Acqua System de polipropileno (PN 12) (Ver "Sección 4.6.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 90 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 8,2 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 73,6 \text{ mm}$

Se calcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{275 \text{ m}^3/\text{h}}{\left(\frac{73,6 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 17,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 7.1.3. Cálculo de la tubería de impulsión (EB-TG-03)

Luego de pasar por la planta de extracción, el biogás se debe enviar al consumo, por lo que se calcula el diámetro de la tubería para tal fin.

#### 7.1.3.1. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{Q [\text{m}^3/\text{h}]}{v [\text{m}/\text{s}]}}$$

Se adopta una velocidad recomendada de 20 m/s para el tramo de impulsión:

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{275 \text{ m}^3/\text{h}}{20 \text{ m}/\text{s}}} = 69,7 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver “Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios”), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 90 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 8,2 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 73,6 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{275 \text{ m}^3/\text{h}}{\left(\frac{73,6 \text{ mm}}{18,8}\right)^2} = 17,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 7.1.3.2. Cálculo de pérdida de carga

Se verifica el régimen del fluido mediante el Número de Reynolds, el cual debe cumplir con un régimen de flujo turbulento. ( $Re > 4000$ )

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,02 \frac{kg}{m^3} \times 17,94 \frac{m}{s} \times 0,0736 m}{1,28 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} \cong 105000 > 4000$$

Para el cálculo de pérdida de carga se consideran las siguientes hipótesis:

- Aumento de temperatura en el fluido como efecto de la compresión producida por el soplador: 5 °C.
- Presión de salida del soplador: 350 mbar.

Mediante la fórmula de Blasius, se tiene:

$$PDC \left( \frac{mbar}{m} \right) = 5 \times 10^6 \cdot 0,354^{1,75} \cdot \rho_N^{0,75} \cdot \mu_N^{0,25} \cdot \frac{T}{T_N} \cdot \frac{P_N}{P} \cdot \frac{Q_N^{1,75}}{D^{4,75}}$$

$$PDC = 5 \times 10^6 \times 0,354^{1,75} \times 1,13^{0,75} \times (1,28 \times 10^{-5})^{0,25} \times \frac{308}{273} \times \frac{1,013}{1,363} \times \frac{250^{1,75}}{73,6^{4,75}}$$

$$PDC = 0,95 \text{ mbar/m}$$

Considerando una longitud equivalente de 35 metros desde la planta de extracción hasta el consumo, se tiene una caída de presión total de:

$$\Delta P = 0,95 \frac{mbar}{m} \times 35 m = 33,25 \text{ mbar}$$

### 7.1.4. Cálculo de la tubería para la alimentación de la antorcha (EB-TG-04)

Para el cálculo del diámetro de la tubería que alimenta la antorcha, se debe considerar la producción máxima de biogás. Por lo tanto, siendo el caudal normalizado de 2000 m<sup>3</sup>/día, se tiene que la antorcha deberá tener una capacidad mínima de:

$$Q = \frac{2000 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ h}} = 84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

#### 7.1.4.1. Cálculo del diámetro económico de la tubería

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{Q \text{ [m}^3\text{/h]}}{v \text{ [m/s]}}}$$

Se adopta una velocidad de 20 m/s para la circulación del gas:

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{84 \text{ m}^3\text{/h}}{20 \text{ m/s}}} = 38,53 \text{ mm}$$

Se selecciona de tabla un tubo comercial de la marca Aldyl de polietileno (PE80) (Ver "Sección 4.4.1.1 de Anexos Complementarios"), con las siguientes características:

- Diámetro nominal :  $D_{nom} = 50 \text{ mm}$
- Espesor:  $e = 4,6 \text{ mm}$
- Diámetro interno:  $D_{int} = 40,8 \text{ mm}$
- Rugosidad:  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$

Se recalcula la velocidad de circulación:

$$v = \frac{84 \text{ m}^3\text{/h}}{\left(\frac{40,8 \text{ mm}}{18.8}\right)^2} = 17,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### 7.1.4.2. Cálculo de pérdida de carga

Se verifica el régimen del fluido mediante el Número de Reynolds, el cual debe cumplir con un régimen de flujo turbulento. ( $Re > 4000$ )

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{int}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 17,84 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0408 \text{ m}}{1,28 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \cong 58000 > 4000$$

Para el cálculo de pérdida de carga se consideran las siguientes hipótesis:

- Aumento de temperatura en el fluido como efecto de la compresión producida por el soplador: 5 °C.
- Presión de salida del soplador: 350 mbar.

Mediante la fórmula de Blasius, se tiene:

$$PDC \left( \frac{mbar}{m} \right) = 5 \times 10^6 \cdot 0,354^{1,75} \cdot \rho_N^{0,75} \cdot \mu_N^{0,25} \cdot \frac{T}{T_N} \cdot \frac{P_N}{P} \cdot \frac{Q_N^{1,75}}{D^{4,75}}$$

$$PDC = 5 \times 10^6 \times 0,354^{1,75} \times 1,13^{0,75} \times (1,28 \times 10^{-5})^{0,25} \times \frac{308}{273} \times \frac{1,013}{1,363} \times \frac{84^{1,75}}{40,8^{4,75}}$$

$$PDC = 2,33 \text{ mbar/m}$$

Considerando una longitud equivalente de 15 metros desde la planta de extracción hasta la antorcha, se tiene una caída de presión total de:

$$\Delta P = 2,33 \frac{mbar}{m} \times 15 \text{ m} = 34,95 \text{ mbar}$$

## 7.2. Cálculo De Soplador (EB-S-01)

El soplador a utilizar se selecciona en base al caudal de trabajo y verificando que pueda vencer la pérdida de carga en el tramo de impulsión calculada anteriormente (Ver "Sección 1.7.3.2.").

## 8. CÁLCULO DE CONSUMO ELÉCTRICO

Se calcula llevando el valor diario a un promedio mensual en base a 22 días.

| CONSUMO ELÉCTRICO               |         |                     |               |                      |                       |
|---------------------------------|---------|---------------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| MÁQUINA                         | CÓDIGO  | TRABAJO DIARIO (Hs) | POTENCIA (KW) | CONSUMO DIARIO (KWh) | CONSUMO MENSUAL (KWh) |
| BOMBA CIRCUITO DE CALEFACCIÓN   | CE-P-01 | 14                  | 3             | 48                   | 1056,00               |
| BOMBA CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN | CE-P-02 | 14                  | 3             | 48                   | 1056,00               |
| BOMBA CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN | CE-P-03 | 14                  | 1,1           | 18,3                 | 402,85                |
| BOMBA A LA SALIDA DE TORRE      | CE-P-04 | 14                  | 2,2           | 35                   | 772,63                |
| BOMBA DE RECIRCULACIÓN          | CE-P-05 | 10                  | 4             | 45,6                 | 1003,40               |
| VENTILADOR DE TORRE             | -       | 14                  | 7,5           | 128                  | 2816,00               |
| SOPLADOR                        | EB-S-01 | 10                  | 5,5           | 64                   | 1408,00               |
| <b>TOTAL</b>                    |         |                     | <b>26,3</b>   | <b>386,9</b>         | <b>8514,88</b>        |

- Potencia instalada: 26,3 KW
- Consumo energía eléctrica mensual: 8514,88 KWh

## 9. CÁLCULO DE COSTOS

### 9.1. Presupuesto/ Inversión inicial

Se computará el costo de cada sector por separado, según precios cotizados por los proveedores.

Los valores tabulados se expresan todos en dólar norteamericano, convirtiendo el valor final también a pesos argentinos.

| Cotización divisas |         |                         |
|--------------------|---------|-------------------------|
| Dólar U.S.A.       | \$62,25 | Banco Nación 05/12/2019 |
| Euro               | \$69,50 |                         |

9.1.1. Presupuestos de equipos

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b>         |              |                           |               |                        |                 |
|--|--------------|---------------------------|---------------|------------------------|-----------------|
| NRO.                                   | CÓDIGO       | DESCRIPCIÓN               | CANTIDAD      | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$) |
| <b>INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS</b> |              |                           |               |                        |                 |
| 1                                      | CE-E-01-C-01 | Tubos de intercambiador   | 85 x 19.02 Kg | 8.50/Kg                | 13741,95        |
| 2                                      | CE-E-01-F-01 | Chapa para carcasa        | 6 x 127.04 Kg | 12.50/Kg               | 9528,00         |
| 3                                      | CE-E-01-F-02 | Cabezal con bocas         | 1 x 111.50 Kg | 12.50/Kg               | 1393,75         |
| 4                                      | CE-E-01-F-03 | Cabezal sin bocas         | 1 x 100.30 Kg | 12.50/Kg               | 1253,75         |
| 5                                      | CE-E-01-F-04 | Tapas intercambiador      | 2 x 59.80 Kg  | 12.50/Kg               | 1495,00         |
| 6                                      | CE-E-01-F-05 | Placas porta tubos        | 2 x 107.00 Kg | 12.50/Kg               | 2675,00         |
| 7                                      | CE-E-01-F-06 | Deflectores               | 28 x 4.70 Kg  | 12.50/Kg               | 1645,00         |
| 8                                      | CE-E-01-F-10 | Soportes                  | 2 x 54.50 Kg  | 3.20/Kg                | 348,80          |
| 9                                      | CE-E-01-F-11 | Bridas de carcasa         | 2             | 75,50                  | 151,00          |
| 10                                     | CE-E-01-F-12 | Bridas de cabezal         | 2             | 74,70                  | 149,40          |
| 11                                     | CE-E-01-F-13 | Placas soportes           | 2 x 17.40 Kg  | 12.50/Kg               | 435,00          |
| 12                                     | CE-E-01-F-14 | Junta comprimida          | 1             | 55,61                  | 55,61           |
| 13                                     | CE-E-01-O-01 | Bulón cabeza hexagonal    | 68            | 0,61                   | 41,64           |
| 14                                     | CE-E-01-O-02 | Bulón cabeza hexagonal    | 68            | 0,40                   | 27,39           |
| 15                                     | CE-E-01-O-03 | Tuerca cabeza hexagonal   | 136           | 0,15                   | 20,40           |
| 16                                     | CE-E-01-O-04 | Arandela Grower           | 136           | 0,09                   | 12,24           |
| 17                                     | ...          | Mano de obra construcción | 1             | 20036,61               | 20036,61        |
|  |              |                           |               | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>53010,54</b> |

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b>  |         |             |             |                        |                 |
|---------------------------------|---------|-------------|-------------|------------------------|-----------------|
| NRO.                            | CÓDIGO  | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD    | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$) |
| <b>CIRCUITOS DE CALEFACCIÓN</b> |         |             |             |                        |                 |
| 1                               | CE-P-01 | bomba       | 1           | 2567,43                | 2567,43         |
| 2                               | CE-P-02 | Bomba       | 1           | 2345,43                | 2345,43         |
| 3                               | CE-P-03 | Bomba       | 1           | 1953,6                 | 1953,6          |
| 4                               | CE-P-04 | Bomba       | 1           | 2449,77                | 2449,77         |
| 5                               | TA-01   | Tubería     | 7 x 12 mts  | 19,12/mts              | 1605,91         |
| 6                               | TA-02   | Tubería     | 13 x 12 mts | 12,52/mts              | 1953,12         |

|    |             |                                |            |                     |                 |
|----|-------------|--------------------------------|------------|---------------------|-----------------|
| 7  | TA-04       | Tubería                        | 3 x 12 mts | 7,62/mts            | 274,43          |
| 8  | TA-05       | Tubería                        | 2 x 12 mts | 3,99/mts            | 95,83           |
| 9  | TA-01-VE-01 | Válvula esclusa bridada        | 1          | 600,49              | 600,49          |
| 10 | TA-02-VE-01 | Válvula esclusa bridada        | 2          | 371,74              | 743,48          |
| 11 | TA-05-VE-01 | Válvula esclusa bridada        | 1          | 203,20              | 203,20          |
| 12 | TA-02-VG-01 | Válvula globo bridada          | 1          | 1206,99             | 1206,99         |
| 13 | TA-04-VG-01 | Válvula globo bridada          | 4          | 873,12              | 3492,48         |
| 14 | TA-05-VG-01 | Válvula globo bridada          | 1          | 614,71              | 614,71          |
| 15 | TA-01-O-01  | Adaptador de brida & brida     | 3          | 212,29              | 636,88          |
| 16 | TA-02-O-01  | Adaptador de brida & brida     | 8          | 128,62              | 1028,96         |
| 17 | TA-04-O-01  | Adaptador de brida & brida     | 14         | 104,35              | 1460,90         |
| 18 | TA-05-O-01  | Adaptador de brida & brida     | 8          | 66,76               | 534,08          |
| 19 | TA-01-O-02  | Cono de reducción              | 1          | 124,89              | 124,89          |
| 20 | TA-02-O-03  | Cono de reducción              | 1          | 83,56               | 83,56           |
| 21 | TA-02-O-04  | Cono de reducción              | 1          | 80,34               | 80,34           |
| 22 | TA-04-O-03  | Cono de reducción              | 1          | 61,13               | 61,13           |
| 23 | TA-05-O-03  | Cono de reducción              | 1          | 60,82               | 60,82           |
| 24 | TA-05-O-04  | Cono de reducción              | 1          | 48,65               | 48,65           |
| 25 | TA-02-O-05  | Cono de reducción              | 1          | 89,12               | 89,12           |
| 26 | TA-04-O-06  | Cono de reducción              | 1          | 72,24               | 72,24           |
| 27 | TA-03-F-01  | Unión Tee                      | 1 x 22 Kg  | 3,20/Kg             | 70,40           |
| 28 | TA-04-O-04  | Unión Tee electrofusión        | 3          | 84,34               | 253,01          |
| 29 | TA-01-O-03  | Cupla electrofusión            | 9          | 86,35               | 777,15          |
| 30 | TA-02-O-02  | Cupla electrofusión            | 20         | 46,72               | 934,40          |
| 31 | TA-04-O-02  | Cupla electrofusión            | 17         | 24,25               | 412,25          |
| 32 | TA-05-O-02  | Cupla electrofusión            | 10         | 14,60               | 146,00          |
| 33 | TA-04-O-05  | Reducción espiga electrofusión | 1          | 52,04               | 52,04           |
| 34 | P-04-C-01   | Variador de frecuencia         | 1          | 800,00              | 800,00          |
|    |             |                                |            | <b>TOTAL (US\$)</b> | <b>27833,69</b> |

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b>     |             |                                     |             |                        |                 |
|------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|------------------------|-----------------|
| NRO.                               | CÓDIGO      | DESCRIPCIÓN                         | CANTIDAD    | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$) |
| <b>PLANTA EXTRACCIÓN DE BIOGÁS</b> |             |                                     |             |                        |                 |
| 1                                  | TG-01       | Tubería de aspiración               | 2 x 12 mts  | 17.76/mts              | 426,31          |
| 2                                  | TG-02       | Tubería de conexión de equipos      | 5 x 4 mts   | 105,84                 | 529,21          |
| 3                                  | TG-03       | Tubería de impulsión                | 4 x 12 mts  | 9.26/mts               | 444,31          |
| 4                                  | TG-04       | Tubería antorcha                    | 1 x 12 mts  | 2.87/mts               | 34,41           |
| 5                                  | TG-02-VS-01 | Válvula esférica termofusión        | 7           | 163,85                 | 1146,96         |
| 6                                  | TG-02-VS-02 | Válvula esférica roscada            | 2           | 4,06                   | 8,12            |
| 7                                  | TG-02-C-01  | Codo a 90° termofusión              | 11          | 25,04                  | 275,47          |
| 8                                  | TG-02-C-02  | Codo a 45° termofusión              | 2           | 25,04                  | 50,08           |
| 9                                  | TG-02-C-03  | Te normal termofusión               | 4           | 30,66                  | 122,63          |
| 10                                 | TG-02-C-04  | Te de reducción central termofusión | 2           | 30,66                  | 61,32           |
| 11                                 | TG-02-C-05  | Tubo hembra termofusión             | 4           | 60,89                  | 243,56          |
| 12                                 | TG-02-C-06  | Tubo macho termofusión              | 2           | 1,63                   | 3,26            |
| 13                                 | TG-02-C-07  | Buje de reducción termofusión       | 2           | 4,62                   | 9,25            |
| 14                                 | TG-02-C-08  | Buje de reducción termofusión       | 2           | 1,66                   | 3,31            |
| 15                                 | TG-02-C-09  | Adaptador de brida termofusión      | 4           | 5,29                   | 21,16           |
| 16                                 | TG-02-F-01  | Brida                               | 4 x 2,40 Kg | 3.20/Kg                | 30,72           |
| 17                                 | TG-02-F-02  | Brida                               | 2 x 1,5 Kg  | 3.20/Kg                | 9,60            |
| 18                                 | TG-01-O-01  | Reducción electrofusión             | 1           | 52,04                  | 52,04           |
| 19                                 | TG-01-O-02  | Cupla electrofusión                 | 1           | 24,25                  | 24,25           |
| 20                                 | TG-03-O-02  | Cupla electrofusión                 | 4           | 14,60                  | 58,40           |
| 21                                 | TG-03-O-03  | Te electrofusión                    | 1           | 42,58                  | 42,58           |
| 22                                 | TG-04-O-04  | Reducción electrofusión             | 1           | 33,83                  | 33,83           |
| 23                                 | TG-02-C-10  | Buje de reducción roscado           | 2           | 2,71                   | 5,41            |
| 24                                 | TG-02-C-11  | Vacuómetro                          | 1           | 8,35                   | 8,35            |
| 25                                 | TG-02-C-12  | Manómetro                           | 1           | 7,21                   | 7,21            |
| 26                                 | TG-02-O-05  | Bulón cabeza hexagonal              | 32          | 0,85                   | 27,11           |
| 27                                 | TG-02-O-06  | Tuerca cabeza hexagonal             | 32          | 0,17                   | 5,47            |
| 28                                 | TG-02-O-07  | Arandela Grower                     | 32          | 0,11                   | 3,38            |
| 29                                 | TG-02-O-08  | Bulón cabeza hexagonal              | 8           | 0,97                   | 7,76            |

|    |            |  |     |                     |                 |
|----|------------|--|-----|---------------------|-----------------|
| 30 | TG-02-O-09 | Tuerca cabeza hexagonal                      | 8   | 0,21                | 1,68            |
| 31 | TG-02-O-10 | Arandela Grower                              | 8   | 0,13                | 1,04            |
| 32 | EB-AL-01   | Arrestallama                                 | 1   | 990,00              | 990,00          |
| 33 | EB-AN-01   | Antorcha automatizada                        | 1   | 18983,22            | 18983,22        |
| 34 | EB-FH-01   | Deshidratador                                | 1   | 2057,14             | 2057,14         |
| 35 | EB-FS-01   | Desulfurizador                               | 1   | 3771,43             | 3771,43         |
| 36 | EB-C-01    | Caudalímetro                                 | 1   | 2785,71             | 2785,71         |
| 37 | EB-S-01    | Soplador                                     | 1   | 2142,86             | 2142,86         |
| 38 | ...        | Relleno férrico para desulfurizador          | 800 | 1,43                | 1142,86         |
| 39 | ...        | Caja de madera para transporte equipos Puxin | 1   | 300,00              | 300,00          |
| 40 | ...        | Costo de seguro de envío equipos Puxin       | 1   | 80,00               | 80,00           |
| 41 | ...        | Costo de envío por mar equipos Puxin         | 1   | 789,00              | 789,00          |
|    |            |  |     | <b>TOTAL (US\$)</b> | <b>36740,41</b> |

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b>   |             |                              |             |                        |                 |
|----------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|------------------------|-----------------|
| NRO.                             | CÓDIGO      | DESCRIPCIÓN                  | CANTIDAD    | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$) |
| <b>RECIRCULACIÓN BIODIGESTOR</b> |             |                              |             |                        |                 |
| 1                                | RB-P-05     | Bomba                        | 1           | 4233,54                | 4233,54         |
| 2                                | TA-06       | Tubería                      | 11 x 12 mts | 30.01/mts              | 3961,32         |
| 3                                | TA-06-VR-01 | Válvula de retención bridada | 1           | 551,30                 | 551,30          |
| 4                                | TA-06-O-01  | Adaptador de brida & brida   | 3           | 336,45                 | 1009,36         |
| 5                                | TA-06-O-02  | Cupla electrofusión          | 13          | 134,84                 | 1752,92         |
| 6                                | TA-06-O-01  | Cono de reducción            | 1           | 200,32                 | 200,32          |
| 7                                | TA-06-O-02  | Cono de reducción            | 1           | 200,32                 | 200,32          |
|                                  |             |                              |             | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>11909,08</b> |

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b> |         |  |          |                        |                  |
|--------------------------------|---------|--|----------|------------------------|------------------|
| NRO.                           | CÓDIGO  | DESCRIPCIÓN  | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$)  |
| <b>RECUBRIMIENTO DE PILETA</b> |         |  |          |                        |                  |
| 1                              | RB-G-01 | Provisión e instalación de cubierta flotante (membrana PEAD) | 840 mts  | 72950,00               | 72950,00         |
| 2                              |         | Provisión e instalación de tubería de captación de gases     | 1        | 14600,00               | 14600,00         |
| 3                              |         | Accesorios   | 8        | 984,00                 | 7872,00          |
| 4                              |         | Control de calidad (prueba neumática)                        | 1        | 2071,50                | 2071,50          |
| 5                              |         | Conexiones a tubería PEAD                                    | 4        | 184,51                 | 738,03           |
| 6                              |         | Tanque de retención de condensado                            | 1        | 9392,74                | 9392,74          |
| 7                              |         | Movilización de personal especializado y equipos             | 1        | 1590,00                | 1590,00          |
| 8                              |         | Obra civil   | 1        | 10000,00               | 10000,00         |
|                                |         |  |          | IVA 21%                | 22935,00         |
|                                |         |  |          | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>142149,27</b> |

| <b>PRESUPUESTO: PFC 1811-B</b> |          |                       |          |                        |                 |
|--------------------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------|-----------------|
| NRO.                           | CÓDIGO   | DESCRIPCIÓN           | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (US\$) | SUBTOTAL (US\$) |
| <b>OTROS</b>                   |          |                       |          |                        |                 |
| <b>PILETA DE ENFRIAMIENTO</b>  |          |                       |          |                        |                 |
| 1                              | CE-TK-01 | Tanque Australiano    | 1        | 14680,48               | 14680,48        |
|                                |          |                       |          | IVA 10,5%              | 1541,45         |
|                                |          |                       |          | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>16221,93</b> |
| <b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>   |          |                       |          |                        |                 |
| 1                              | CE-T-01  | Torre de enfriamiento | 1        | 8360,00                | 8360,00         |
|                                |          |                       |          | IVA 10,5%              | 877,80          |
|                                |          |                       |          | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>9237,80</b>  |
| <b>GASTOS ADICIONALES</b>      |          |                       |          |                        |                 |
| 1                              | ...      | Gastos adicionales    | 1        | 10000                  | 10000           |
|                                |          |                       |          | <b>TOTAL (US\$)</b>    | <b>10000</b>    |
| <b>TOTAL</b>                   |          |                       |          |                        | <b>35459,73</b> |

| TOTAL INVERSIÓN                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| SECTOR Y/O EQUIPO               | MONTO (US\$)       |
| INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS | 53010,54           |
| CIRCUITO DE CALEFACCIÓN         | 27833,69           |
| PLANTA EXTRACCION DE BIOGÁS     | 36740,41           |
| RECIRCULACIÓN BIODIGESTOR       | 11909,08           |
| RECUBRIMIENTO DE PILETA         | 142149,27          |
| OTROS                           | 35459,73           |
| <b>TOTAL INVERSIÓN (US\$)</b>   | <b>307102,72</b>   |
| <b>TOTAL INVERSIÓN (\$)</b>     | <b>19117144,32</b> |

### 9.1.2. Energía Eléctrica

El costo del consumo de energía eléctrica fue calculado en base al cuadro tarifario de ENERSA vigente desde el 1ro de noviembre de 2019 hasta el 31 de enero de 2020.

| ENERGÍA                       | CONSUMO (KWh) | PRECIO (\$/KW h)   | IMPORTE (\$)    | IMPORTE (US\$) |
|-------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Activas horas punta           | 0             | 3,6                | 0,00            | 0,00           |
| Activa horas restantes        | 8514,88       | 3,45               | <b>29376,36</b> | <b>471,91</b>  |
| Activas horas valle nocturno  | 0             | 3,3                | 0,00            | 0,00           |
| POTENCIA                      | CONSUMO (KW)  | PRECIO (\$/KW-mes) | IMPORTE (\$)    | IMPORTE (US\$) |
| Suministro horas punta        |               | 173,76             | 0,00            |                |
| Suministro fuera horas punta  | 26,3          | 160,39             | 4218,26         | 67,76          |
| Cargo fijo potencia adquirida | 26,3          | 77,43              | 2036,41         | 32,71          |
| <b>SUBTOTAL</b>               |               |                    | <b>35631,00</b> | <b>572,39</b>  |
| Contribución municipal 8,69%  | -             |                    | 3096,334074     | 49,74          |
| IVA Resp. Inscripto 27%       | -             |                    | 9620,37054      | 154,54         |
| <b>TOTAL</b>                  |               |                    | <b>48347,71</b> | <b>776,67</b>  |

## 9.2. Flujo De Fondos

El ingreso de fondos se debe solo a la generación de biogás por parte del biodigestor. Se adjuntan datos obtenidos de ensayos de un biodigestor portátil el cual se instaló en la planta.

### 9.2.1.1. Ensayo biodigestor de prueba (DP)

| FECHA     | HORA INICIO | HORA DE CIERRE | TIEMPO BOMBEO (min) | CAUDAL INICIAL | CAUDAL FINAL | TOTAL (l) | TOTAL (m³) | CAUDAL POZO (m³) | CAUDAL EFLUENTE (m³) |
|-----------|-------------|----------------|---------------------|----------------|--------------|-----------|------------|------------------|----------------------|
| 30/1/2019 | 16:00       | 16:49          | 49                  | 3558           | 3746         | 188       | 0,188      | 1880,52          | 1692,468             |
| 31/1/2019 | 13:44       | 15:04          | 80                  | 3746           | 4047         | 301       | 0,301      | 1789,9           | 1610,91              |
| 1/2/2019  | 15:16       | 16:32          | 76                  | 4052           | 4345         | 293       | 0,293      | 1719,1           | 1547,19              |
| 4/2/2019  | 15:56       | 17:28          | 92                  | 4369           | 4641         | 272       | 0,272      | 1528,5           | 1375,65              |
| 5/2/2019  | 15:10       | 17:13          | 123                 | 4646           | 5095         | 449       | 0,449      | 1513             | 1361,7               |
| 6/2/2019  | 15:17       | 17:02          | 105                 | 5099           | 5801         | 702       | 0,702      | 1612,1           | 1450,89              |
| 7/2/2019  | 16:01       | 17:18          | 77                  | 5811           | 6651         | 840       | 0,84       | 1713             | 1541,7               |
| 8/2/2019  | 15:37       | 16:20          | 43                  | 6656           | 7115         | 459       | 0,459      | 1595,6           | 1436,04              |
| 11/2/2019 | 15:56       | 17:09          | 73                  | 7147           | 8032         | 885       | 0,885      | 1595,6           | 1436,04              |
| 12/2/2019 | 16:53       | 18:12          | 79                  | 8045           | 8801         | 756       | 0,756      | 1809             | 1628,1               |
| 13/2/2019 | 17:03       | 17:36          | 33                  | 8811           | 9183         | 372       | 0,372      | 1750             | 1575                 |
| 14/2/2019 | S/D         | S/D            | S/D                 | 9183           | 9253         | 70        | 0,07       | 1650             | 1485                 |
| 15/2/2019 | 11:15       | 12:00          | 45                  | 9253           | 9473         | 220       | 0,22       | 1544,6           | 1390,14              |
|           |             |                |                     |                |              |           |            | 1313,2           | 1181,88              |
| 18/2/2019 | 09:00       | 10:05          | 65                  | 9473           | 9806         | 333       | 0,333      | 1688             | 1519,2               |
| 19/2/2019 | 08:00       | 08:35          | 35                  | 9806           | 9974         | 168       | 0,168      | 1700             | 1530                 |
| 20/2/2019 | 10:15       | 11:15          | 60                  | 9974           | 10192        | 218       | 0,218      | 1800             | 1620                 |
| 21/2/2019 | 08:00       | 08:50          | 50                  | 10192          | 10462        | 270       | 0,27       | 1936,21          | 1742,589             |
| 22/2/2019 | 07:10       | 08:00          | 50                  | 10462          | 10677        | 215       | 0,215      | 1673,8           | 1506,42              |

| BOIGAS EQUIVALENTE (m³) | METANO EQUIVALENTE (m³) | GLP EQUIVALENTE (m³) | AHORRO DIARIO \$ | AHORRO DIARIO u\$ | AHORRO ANUAL \$ | AHORRO ANUAL u\$ | BIOGAS X MENSUAL (m³) | PROM TEMP |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------|
| 1988,6499               | 1392,05493              | 1972,077818          | 47941,21174      | 770,1399477       | 9624198,257     | 154605,5945      | 1093,757445           | 25- 30 °  |
| 3030,524438             | 2121,367106             | 3005,270067          | 73058,11533      | 1173,624343       | 14666416,65     | 235605,0868      | 1666,788441           | 25- 30 °  |
| 2833,291688             | 1983,304181             | 2809,680923          | 68303,34325      | 1097,242462       | 13711896,16     | 220271,4242      | 1558,310428           | 25- 30 °  |
|                         |                         |                      |                  |                   |                 | 203494,0352      | 1439,618771           |           |
| 2338,605                | 1637,0235               | 2319,116625          | 56377,72515      | 905,6662675       | 11317828,32     | 181812,5032      | 1286,23275            | >30°      |
| 3821,270625             | 2674,889438             | 3789,426703          | 92120,96315      | 1479,85483        | 18493283,35     | 297080,8571      | 2101,698844           | >30°      |
| 6365,779875             | 4456,045913             | 6312,731709          | 153462,5079      | 2465,26117        | 30807598,45     | 494901,1799      | 3501,178931           | >30°      |
| 8093,925                | 5665,7475               | 8026,475625          | 195123,6224      | 3134,516023       | 39171067,21     | 629254,0917      | 4451,65875            | >30°      |
| 4119,63975              | 2883,747825             | 4085,309419          | 99313,87197      | 1595,403566       | 19937259,8      | 320277,2658      | 2265,801863           | >30°      |
|                         |                         |                      |                  |                   |                 | 384665,18        | 2721,31               |           |
| 7943,09625              | 5560,167375             | 7876,903781          | 191487,5309      | 3076,104914       | 38441121,83     | 617528,0616      | 4368,702938           | >30°      |
| 7692,7725               | 5384,94075              | 7628,666063          | 185452,872       | 2979,162602       | 37229664,05     | 598066,8924      | 4231,024875           | >30°      |
| 3661,875                | 2563,3125               | 3631,359375          | 88278,34641      | 1418,126047       | 17721878,04     | 284688,8039      | 2014,03125            | >30°      |
| 649,6875                | 454,78125               | 644,2734375          | 15662,28727      | 251,6030083       | 3144204,169     | 50509,30391      | 357,328125            | >30°      |
| 1911,4425               | 1338,00975              | 1895,513813          | 46079,94078      | 740,2400126       | 9250548,112     | 148603,1825      | 1051,293375           | >30°      |
|                         |                         |                      |                  |                   |                 | 339879,25        | 2404,48               |           |
| 3161,835                | 2213,2845               | 3135,486375          | 76223,67378      | 1224,476687       | 15301902,51     | 245813,6949      | 1739,00925            | 25-28     |
| 1606,5                  | 1124,55                 | 1593,1125            | 38728,56488      | 622,1456205       | 7774759,399     | 124895,7333      | 883,575               | 25-28     |
| 2207,25                 | 1545,075                | 2188,85625           | 53211,09544      | 854,7967139       | 10682127,41     | 171600,4403      | 1213,9875             | 25-28     |
| 2940,618938             | 2058,433256             | 2916,11378           | 70890,72598      | 1138,806843       | 14231313,24     | 228615,4738      | 1617,340416           | 25-28     |
| 2024,251875             | 1416,976313             | 2007,383109          | 48799,48339      | 783,927444        | 9796496,29      | 157373,4344      | 1113,338531           | 25-28     |
|                         |                         |                      |                  |                   |                 | 185659,76        | 1313,45               |           |

Los valores en color verde y amarillo son los promedios semanales de los ahorros anuales en US\$ de GLP y generación de biogás diaria respectivamente.

A continuación, se detallan los pasos que se realizaron para obtener los valores que se expresan en la tabla del ensayo del DP. (La tabla fue dividida en dos, por cuestiones de legibilidad)

**Caudal diario:** se calcula realizando la resta aritmética de los valores apuntados en el caudalímetro, teniendo en cuenta que el conteo comienza cuando se enciende la hornalla, y se verifica que durante todo el tiempo del ensayo la misma se encuentre en funcionamiento para no contabilizar aire. Para esto se estima un tiempo de acuerdo al volumen de gas en el gasómetro del DP, que se estima de acuerdo a la experiencia del operador y el caudal de la bomba (entre 45 a 90 minutos).

**Caudal de efluente:** se calcula restando al caudal de bombeo un 10 % que se estima no ingresa al sistema de tratamiento de efluentes.

**Biogás equivalente:** se realiza una regla de tres simples tomando el caudal del DP, multiplicándole por el caudal del efluente y dividiéndolo por la carga del digestor (para este caso 160 l/día), lo que equivale a un tiempo de residencia hidráulico semejante al de la laguna anaeróbica.

**Metano equivalente:** se multiplica el biogás equivalente por el porcentaje de metano medido con el equipo de medición portátil. (Se estima una media del 70%).

**GLP equivalente:** se calcula multiplicando el volumen de metano por el poder calorífico (8500 Kcal/m<sup>3</sup>), y dividiéndolo por el factor de conversión a GLP (6000 kcal/l).

**Ahorro diario \$:** se calcula multiplicando los litros de GLP equivalente por el valor de mercado (\$ 24,31 que se obtiene de un valor de \$22 más 10.5 de IVA).

**Ahorro diario US\$:** se calcula en base a la cotización del dólar a la venta del banco nación del día.

**Ahorro anual US\$:** se calcula llevando el valor diario a un promedio mensual en base a 22 días de faena al mes y multiplicando por un factor de 0.75, que tiene en cuenta perdida de rendimientos generales.

**Promedio Diario de Generación de Biogás mensual:** se calcula llevando el valor diario a un promedio mensual en base a 22 días de faena al mes y multiplicando por un factor de 0.75, que tiene en cuenta perdida de rendimientos generales. Sirve para comparar con digestores similares que funcionan en otras industrias (Camelias 2000 m<sup>3</sup>/día).

Dado que se estima mantener la temperatura del biodigestor por encima de los 30° C durante todo el año, se obtiene que:

1. En función a los valores obtenidos del DP, se adopta una generación de biogás diaria de 2000m<sup>3</sup>.
2. Un ahorro de:

### MENSUAL

| GENERACIÓN DE BOIGÁS (m <sup>3</sup> ) | METANO EQUIVALENTE (m <sup>3</sup> ) | GLP EQUIVALENTE (lts) | AHORRO DIARIO (\$) | AHORRO MENSUAL (\$) | AHORRO MENSUAL (US\$) |
|--|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 2000                                   | 1400                                 | 1983,33               | 48214,83           | 795544,75           | 12779,84              |

### ANUAL

| BOIGAS EQUIVALENTE (m <sup>3</sup> ) | METANO EQUIVALENTE (m <sup>3</sup> ) | GLP EQUIVALENTE (lts) | AHORRO DIARIO (\$) | AHORRO ANUAL (\$) | AHORRO ANUAL (US\$) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 2000                                 | 1400                                 | 1983,33               | 48214,83           | 9546537,00        | 153358,02           |

### 9.3. Cálculo De Retorno De Inversión

A continuación, se realiza el cálculo de la amortización del proyecto.

| COSTO INICIAL (US\$) | COSTO MENSUAL (US\$) | AHORRO MENSUAL (US\$) | AMORTIZACION (Meses) |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 307102,72            | 776,67               | 12780,00              | 25,6                 |

Se estima un retorno de inversión de aproximadamente 26 meses, es decir, dos años y dos meses.

# APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORAS AMBIENTALES EN PLANTA FADEL S.A.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD  
REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY



**ANEXOS  
COMPLEMENTARIOS**

## ÍNDICE

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | ÍNDICE DE FIGURAS .....   | 2  |
| 2.     | ÍNDICE DE TABLAS .....  | 2  |
| 3.     | ANEXO 1 – Información complementaria .....                            | 3  |
| 3.1.   | Intercambiador de casco y tubos.....                                  | 3  |
| 3.2.   | Planta de extracción y acondicionamiento de biogás .....              | 4  |
| 3.3.   | Recubrimiento del biodigestor .....                                   | 8  |
| 3.3.1. | Disposición.....  | 8  |
| 3.3.2. | Fijación de la membrana .....   | 9  |
| 4.     | ANEXO 2 – Figuras y Tablas .....                                      | 10 |
| 4.1.   | Propuesta 1 – Acuocondensador e Intercambiador de placas.....         | 10 |
| 4.2.   | Propuesta 2 – Condensador de mezcla .....                             | 12 |
| 4.3.   | Propuesta 3 – Acuocondensador e Intercambiador de casco y tubos ..... | 15 |
| 4.4.   | Equipos de bombeo .....   | 22 |
| 4.5.   | Cálculos térmicos del biodigestor .....                               | 22 |
| 4.6.   | Planta de extracción de biogás .....                                  | 24 |
| 5.     | ANEXO 3 – Normativas.....   | 24 |
| 5.1.   | Normativas Ministerio De Salud .....                                  | 24 |
| 5.2.   | Normativas Técnicas.....  | 25 |
| 6.     | ANEXO 4 – Glosario .....  | 25 |
| 7.     | ANEXO 5 – Bibliografía.....   | 27 |

## 1. ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| 4.1.1.2: Calculo de recipiente cilíndrico .....        | 8  |
| 4.1.1.3: Esquema tentativo (PROPUESTA 1) .....         | 10 |
| 4.2.1.1: Velocidad de inundación de torre .....        | 11 |
| 4.2.1.4: Caída de presión de la torre – Figura 1 ..... | 12 |
| 4.2.1.4: Caída de presión de la torre – Figura 2 ..... | 12 |
| 4.2.1.5: Esquema tentativo (PROPUESTA 2) .....         | 13 |
| 4.3.1.1: Factor de corrección .....                    | 14 |
| 4.3.1.6: Esquema tentativo (PROPUESTA 3) .....         | 18 |
| 4.5.1.1: Valore de temperatura promedio anual .....    | 21 |
| 4.5.1.2: Velocidad del viento promedio anual .....     | 22 |
| 4.5.1.4: Radiación solar promedio anual .....          | 22 |

## 2. ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| 4.1.1.1: Tipo de inyectores .....                               | 8  |
| 4.2.1.2: Características del tipo de relleno .....              | 11 |
| 4.2.1.3: Verificación del relleno .....                         | 11 |
| 4.3.1.2: Coeficiente de transferencia aproximado .....          | 14 |
| 4.3.1.3: Coeficiente de Colburn .....                           | 14 |
| 4.3.1.4: Coeficiente de transmisión de calor .....              | 15 |
| 4.3.1.5: Factor de fricción “F” .....                           | 15 |
| 4.3.1.7: Eficiencia de soldadura .....                          | 17 |
| 4.3.1.8: Espesor de carcasa o envolvente según norma TEMA ..... | 17 |
| 4.3.1.9: Detalle de uniones para tapas planas .....             | 18 |
| 4.3.1.10: Ancho efectivo de asentamiento del empaque “b” .....  | 19 |
| 4.3.1.11: Material del empaque .....                            | 20 |

4.3.1.12: Espesor de deflectores según norma TEMA .....20  
 4.3.1.13: Barras separadoras según norma TEMA .....20  
 4.4.1.1: Tuberías Aldyl .....21  
 4.5.1.3: Coeficiente pelicular .....22  
 4.6.1.1: Tuberías Acqua System .....23

### 3. ANEXO 1 – Información complementaria

#### 3.1. Intercambiador de casco y tubos

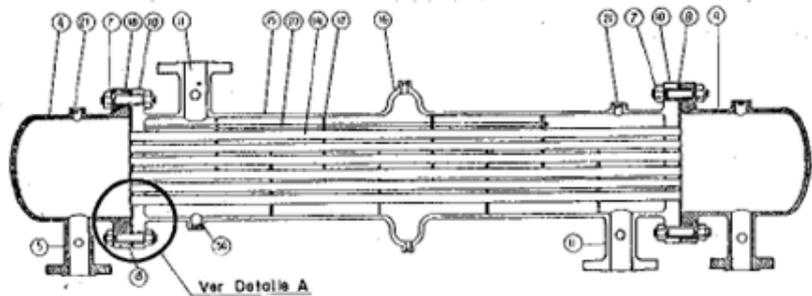
##### Descripción general

La idea básica que da origen al intercambiador, es la de colocar varios tubos internos cerrados en otro de mucho mayor diámetro.

El intercambiador de la figura, consta de un tubo de gran diámetro que recibe el nombre de coraza, carcasa o envolvente.

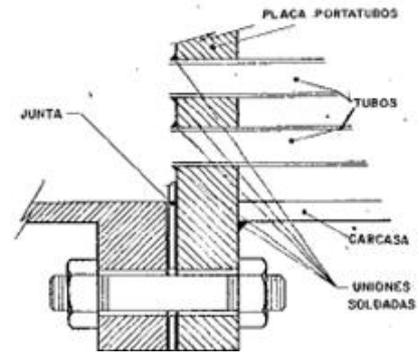
**TABLA 1**  
 Nomenclatura de componentes de intercambiadores de casco y tubos

|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Tapa del canal.</li> <li>2 - Cabezal tipo canal.</li> <li>3 - Brida de conexión del canal.</li> <li>4 - Cabezal tipo bonete</li> <li>5 - Brida de conexión del bonete</li> <li>6 - Brida de la carcasa, extremo del cabezal estacionario</li> <li>7 - Bulonería</li> <li>8 - Junta</li> <li>9 - Placa de tubos estacionaria</li> <li>10 - Placa de tubos fija</li> <li>11 - Brida de conexión de la carcasa</li> <li>12 - Brida de la carcasa, extremo del cabezal posterior</li> <li>13 - Deflector de protección de impacto</li> <li>14 - Tubos</li> <li>15 - Carcasa</li> <li>16 - Junta de expansión</li> <li>17 - Deflector transversal</li> <li>18 - Brida del cabezal fijo (canal o bonete)</li> <li>19 - Placa de partición de pasos</li> <li>20 - Barras distanciadoras y espaciadores</li> <li>21 - Conexión para venteo</li> <li>22 - Anillo de respaldo o anillo partido</li> <li>23 - Placa de tubos flotante</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>24 - Cabezal flotante</li> <li>25 - Anillo linterna</li> <li>26 - Empaquetadura</li> <li>27 - Caja de empaquetadura</li> <li>28 - Prensastopa</li> <li>29 - Placa-cabezal flotante</li> <li>30 - Brida loca</li> <li>31 - Anillo chaveta</li> <li>32 - Bonete de retorno</li> <li>33 - Tapa del cabezal flotante</li> <li>34 - Tapa de la carcasa</li> <li>35 - Oreja de izaje</li> <li>36 - Tapón de drenaje</li> <li>37 - Brida de la tapa de carcasa</li> <li>38 - Brida del cabezal flotante</li> <li>39 - Brida del bonete de retorno</li> </ul> |
|--|--|

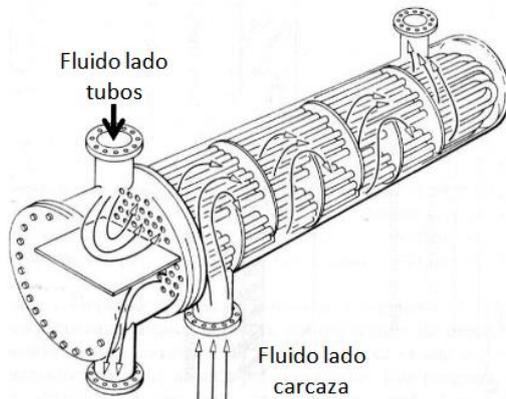


La carcasa está cerrada en sus extremos por placas portatubos llamadas placas tubulares. Las mismas suelen ser de considerable espesor, y están atravesadas por los tubos verticales.

La placa de tubos se abulona a los cabezales, que actúan como colectores y distribuidores del fluido que circula por los tubos. El mismo ingresa al equipo por uno de los cabezales y penetra dentro de los tubos recorriendo toda la longitud de los mismos para aparecer en el mismo cabezal o en el cabezal opuesto dependiendo del número de pasos que este disponga.



El otro fluido, ingresa a la carcasa por una de sus



bocas de conexión y llena el espacio que rodea los tubos, desplazándose hacia la boca de salida por donde se lo extrae. De este modo, ambos fluidos están separados por la superficie de los tubos que constituye el área de transferencia del equipo.

### 3.2. Planta de extracción y acondicionamiento de biogás

A continuación, se detallan los equipos que intervienen en el proceso de extracción de biogás desde el biodigestor hasta su almacenamiento y/o uso:

#### 1. Tubería

La tubería de extracción de biogás será, al igual que en los circuitos de efluente, de polietileno de alta densidad. La principal razón de utilizar PEAD, es su condición anticorrosiva necesaria por la presencia del ácido sulfhídrico presente en el biogás y su facilidad de instalación.

- 1.1. Colectores de gas: Estos son las tuberías horizontales, que disponen de perforaciones para captar el gas generado, las cuales serán colocadas en el perímetro de la pileta.
- 1.2. Tubo de aspiración de gas: Este es el tubo que conecta el punto de colección con el soplador.
- 1.3. Tubo de transporte: Este es el tubo que conduce los gases con sobrepresión hacia el sector de consumo.

## 2. Purificación

### 2.1. Filtro de agua o deshidratador

El biogás se encuentra saturado con vapor de agua, el cual genera condensación dentro de la cañería. Debido a esto, es necesario evacuar dicho fluido ya que con el tiempo puede impedir el flujo normal del biogás.

Esta deshidratación se lleva a cabo en dos etapas:

La primera se realiza extrayendo el agua que condensa en la tubería desde el biodigestor hasta la entrada de la planta de extracción, instalando la cañería con una pendiente mínima del 1% hacia el biodigestor para que evacúe el condensado nuevamente dentro del mismo. Si esto no fuera posible dado el nivel geodésico del suelo entre el biodigestor y la planta de extracción (análisis que excede los alcances de este proyecto), se deberá instalar la cañería con una pendiente hacia un recipiente hermético denominado trampa de condensado, donde éste se almacena y se extrae mediante una bomba con control automático de nivel. Dicho equipo será contemplado dentro del presupuesto del recubrimiento del biodigestor, debido a que está directamente relacionado al conexionado del mismo, pero no se calculará por lo explicado anteriormente.

La segunda etapa se da en el primer equipo de la planta de extracción denominado deshidratador, el cual permite retener las gotas de agua presentes en el gas y eximirlo de humedad para su posterior consumo.

### 2.2. Filtro de ácido sulfhídrico

Debido a su contenido de otros gases contaminantes, el biogás debe tratarse y acondicionarse previo a su aprovechamiento en las unidades de producción de energía eléctrica o calor. Esto significa la eliminación y/o reducción del H<sub>2</sub>S y trazas de otros gases.

Determinados equipos requieren que el gas a utilizar se encuentre libre de SO<sub>2</sub>, para garantizar los intervalos de mantenimiento y vida útil de los equipos, debido a que el mismo combinado con el agua da como resultado ácido sulfhídrico que corroe las partes vitales de algunas instalaciones.

#### Absorción con compuestos de hierro

El método más utilizado es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro. El H<sub>2</sub>S del gas se combina con el hierro formando sulfuro de hierro logrando eliminar eficientemente el SH<sub>2</sub> a temperatura ambiente o superiores.

## 3. Impulsión de biogás

Para poder extraer el biogás es necesario un soplador. Este equipo genera depresión para succionar los gases del biogás, y sobrepresión para mandarlos al sector de consumo.

|  |                          |         |                |
|--|--------------------------|---------|----------------|
| Preparó: ALBORNOZ, Brian; EULER, Javier; PENNESI, Martin | Revisó:<br>GP – 13/12/19 | Aprobó: | Página 5 de 27 |
|--|--------------------------|---------|----------------|

#### 4. Exceso de biogás

El gas obtenido de los digestores se utiliza principalmente en calefacción o generación de electricidad. La antorcha debe quemar el gas producido en exceso, no utilizado y las puntas que se producen en caso de parada de los quemadores o motores.

Los objetivos principales de la antorcha son la liberación de gas en situaciones de emergencia y quemar de forma segura y controlada estos gases no utilizables, evitando su emisión directa a la atmósfera.



#### 5. Sistema de seguridad por frente de llama

En la tubería aguas arriba del soplador se instala un arrestallama apropiado para gases con alto contenido de metano, el cual tiene las siguientes funciones:

- Permitir el paso del gas en condiciones normales de operación
- Detener y extinguir cualquier frente de llama que se propague a través de la mezcla de gas/aire inflamable.

Al detener las llamas, se protege al tanque de almacenamiento y a los equipos ubicados en la tubería, de los daños catastróficos que puede provocar una ignición no controlada

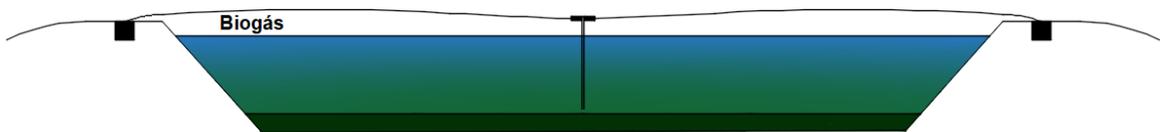
#### 6. Sistema de seguridad por sobrepresión

##### 6.1. Cubierta de piletta

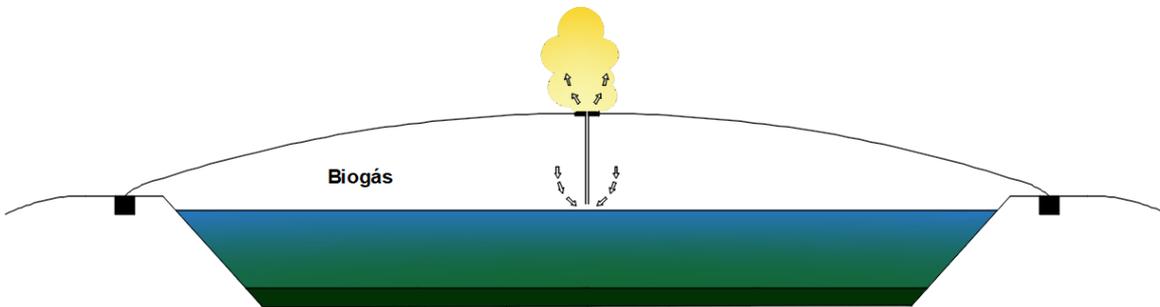
En el caso de que la antorcha falle o no prenda, o bien que las válvulas de seguridad tampoco se accionen, la instalación cuenta con un último dispositivo mecánico de seguridad contra la sobrepresión del gasómetro en caso de que el volumen de generación se vuelva excesivo frente al consumo.

En la cubierta de la pileta, vulcanizado o soldado al PEAD que actúa de gasómetro, se encuentra uno o varios PUFF el cual posee en su centro un tubo plástico también de PEAD, el cual se encuentra instalado hacia el interior del recinto.

Cuando el volumen generado es bajo o los consumos son altos, ocurre que el gasómetro se encuentra desinflado, este tubo se encuentra sumergido en el efluente, por lo que no realiza ninguna tarea específica, ni tampoco permite el ingreso de oxígeno o de algún agente que altere el medio.



Caso contrario, el cual se podría dar en verano, donde los consumos son menores y la eficiencia de generación aumenta por las altas temperaturas, el elastómero podría alcanzar la altura estimada lo que lleva a retirar el tubo fuera del efluente. Permitiendo de esta manera que el biogás escape por dicho tubo, actuando como una válvula de alivio.



## 6.2. Línea de transporte de biogás

La línea (tubos) que transportan el biogás desde la planta de extracción a la zona de consumo, dispondrán de sistemas mecánicos de seguridad por sobre presión integrados al soplador.

## 7. Sistemas de control

### 7.1. Caudalímetros

Por medio de caudalímetros se puede llevar un control de la producción de biogás. La cantidad de biogás generado es un indicador de la eficiencia de la reacción anaeróbica y nos permite calcular el retorno de la inversión.

### 7.2. Medidores de presión

A través de los medidores de presión se controla el correcto funcionamiento de la instalación mientras se esté realizando la extracción de biogás, y eventualmente la evacuación del gas hacia la antorcha de excedente en caso de que la presión se eleve por sobre la presión de trabajo establecida.

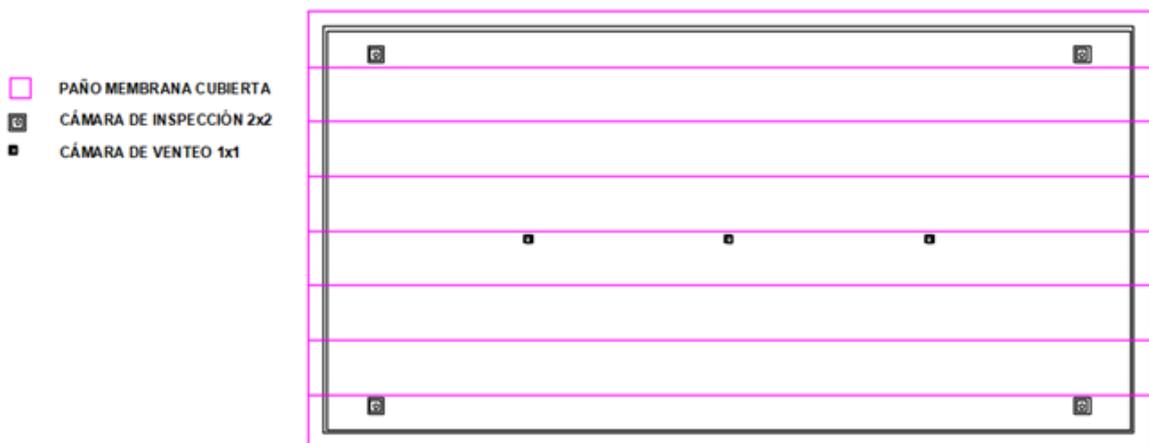
### 7.3. Reguladores de presión

Ajuste de presión y soplador: El soplador produce depresión para succionar los gases del cuerpo de relleno, y sobrepresión para mandar los gases al sector de tratamiento. El ajuste de presión mantiene la depresión y la sobrepresión en el nivel óptimo.

## 3.3. Recubrimiento del biodigestor

### 3.3.1. Disposición

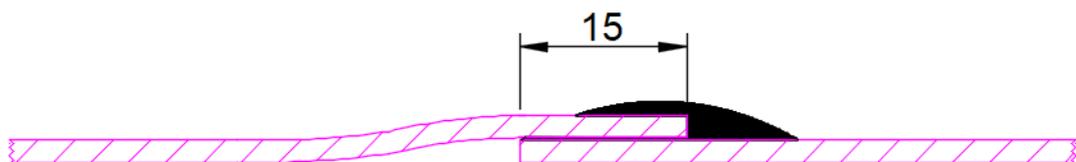
El trabajo de recubrimiento de la pileta de efluentes será realizado por la firma SIGSA. Para dicho recubrimiento se utiliza una geomembrana lisa de polietileno de alta densidad (PEAD) de la marca SIGSA modelo GEO HDPE60, la cual asegura un sellado absoluto de la instalación mediante la unión de los paños a través de soldadura por extrusión con aporte de material idéntico a la membrana. Dichas membrana se ofrece en rollos de 7 metros de ancho, por lo que son necesarios para cubrir la pileta 8 paños de 105 metros de largo aproximadamente, lo que suma 840 metros lineales. Esto da un total de 5880 m<sup>2</sup> de geomembrana.



La membrana contará con:

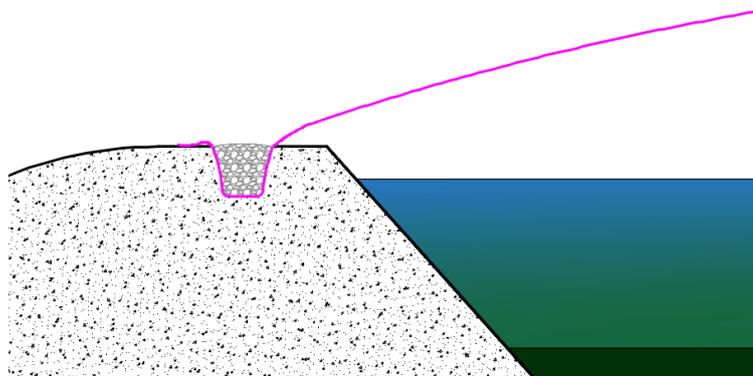
- Cámaras de venteo
- Cámaras de inspección
- Frente de flotación

El solape en la unión de los paños es por recomendación del fabricante de 15cm aproximadamente.



### 3.3.2. Fijación de la membrana

Para la fijación de la membrana al suelo se realiza una zanja en todo el perímetro de la pileta. Luego, se extienden los bordes de la membrana en el interior de la misma y se rellena con hormigón.



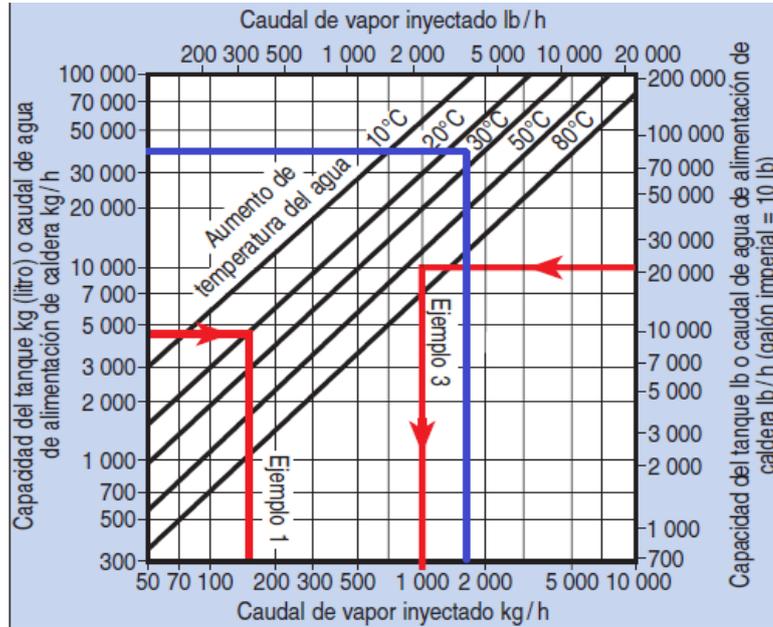
## 4. ANEXO 2 – Figuras y Tablas

### 4.1. Propuesta 1 – Acuocondensador e Intercambiador de placas

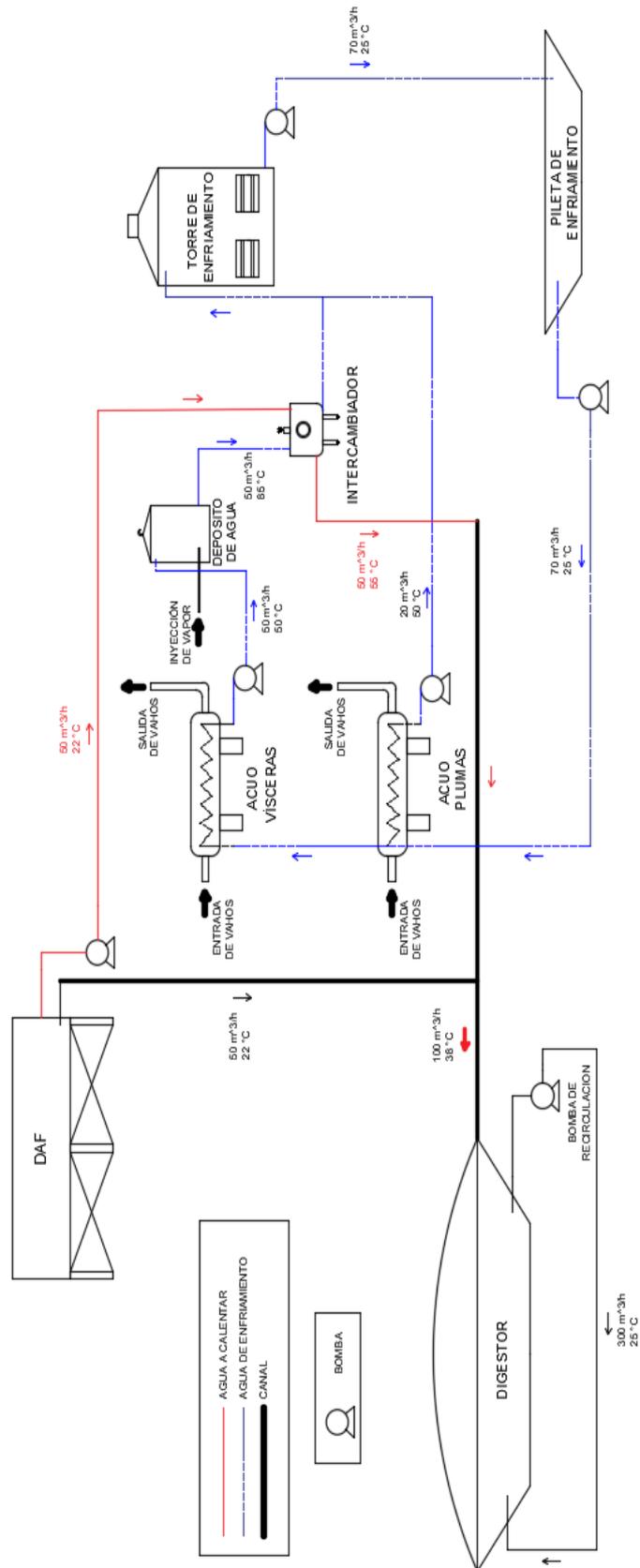
#### 4.1.1.1. Tipo de inyectores

| Tipo de inyector                                    | IN15                               | IN25M | IN40M |
|---|------------------------------------|-------|-------|
| Presión de vapor en la entrada del inyector (bar r) | Capacidad de vapor saturado kg / h |       |       |
| 1   | 20                                 | 135   | 400   |
| 2   | 48                                 | 175   | 580   |
| 3   | 66                                 | 280   | 805   |
| 4   | 84                                 | 350   | 970   |
| 5   | 102                                | 410   | 1 125 |
| 6   | 120                                | 500   | 1 295 |

#### 4.1.1.2. Cálculo de recipiente cilíndrico



4.1.1.3. Esquema tentativo de la propuesta



## 4.2. Propuesta 2 – Condensador de mezcla

### 4.2.1.1. Velocidad de inundación de la torre

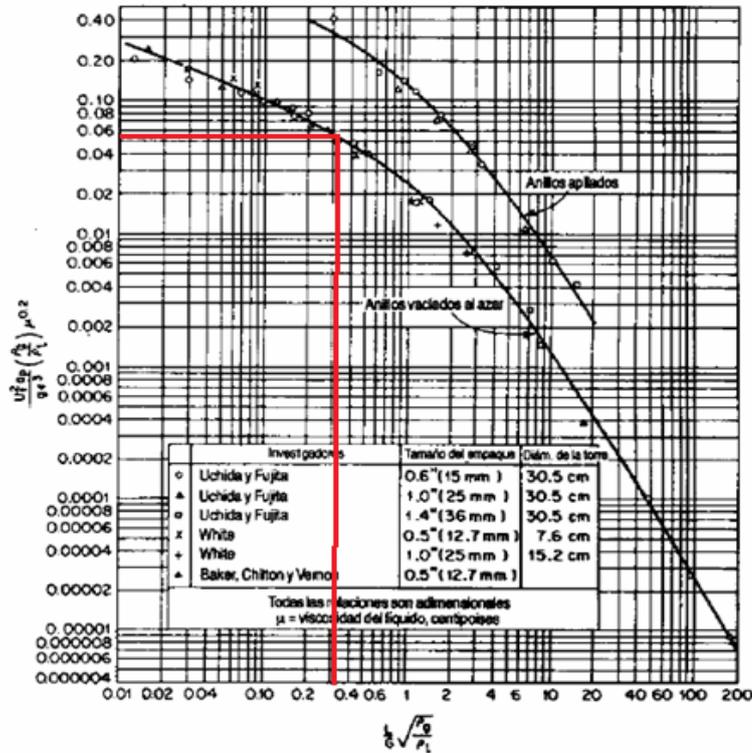


FIG. 18-37 Correlación generalizada de puntos de inundación, columnas empacadas [Sherwood y colaboradores, *Ind. Eng. Chem.*, 30, 768 (1938)].

### 4.2.1.2. Características del tipo de relleno

TABLA 18-5 Características de los empaques para torres tipo vaciado\*

| Tipo de empaque        | Diámetro nominal, mm | Espesor de la pared, mm | Diámetro externo y longitud, mm | Núm. aproximado de elementos por m <sup>3</sup> | Peso aproximado por m <sup>3</sup> , kg | Área superficial aproximada, m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> | Porcentaje de espacios vacíos | Factor del empaque, $\beta_p$ , m <sup>-2</sup> |
|------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|---|---|---|-------------------------------|---|
| Anillos Raschig, acero | 19                   | 1.6                     | 19                              | 111,000   | 1500                                    | 345   | 80                            | 730   |
|                        | 25                   | 1.6                     | 25                              | 45,300  | 1140                                    | 285   | 86                            | 450   |
|                        | 38                   | 1.6                     | 38                              | 14,100  | 785                                     | 30  | 81                            | 370   |
|                        | 50                   | 1.6                     | 50                              | 5,900   | 590                                     | 95  | 92                            | 187   |
|                        | 75                   | 1.6                     | 75                              | 1,800   | 400                                     | 66  | 95                            | 105   |

### 4.2.1.3. Verificación del relleno

| Diámetro de la columna | Tamaño del empaque  |
|------------------------|---------------------|
| < 0.3 m (1 ft)         | < 25 mm (1 in)      |
| 0.3-0.9 m (1-3 ft)     | 25-28 mm (1-1.5 in) |
| > 0.9 m                | 50-75 mm (2-3 in)   |

PDVSA – Manual de Diseño de Proceso – Torres de Destilación Empacadas, 1997.

4.2.1.4. Caída de presión de la torre

Figura 1

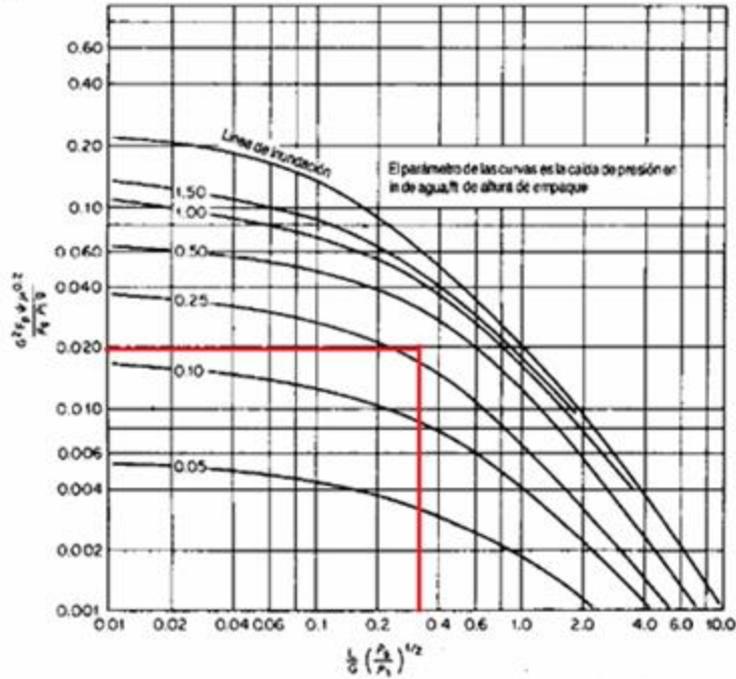


FIG. 18-38 Correlación generalizada de inundación y caída de presión para empaques. Para convertir pulgadas de agua por pie de altura empacada, en milímetros de agua por metro de altura empacada, multiplíquese por 83.31. [Eckert, Chem. Eng. Prog., 66 (3), 39 (1973)]

Figura 2

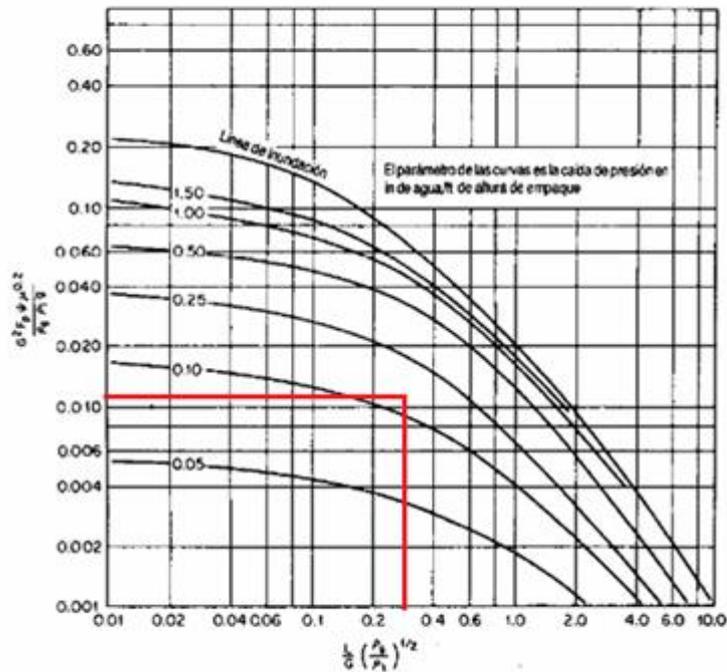
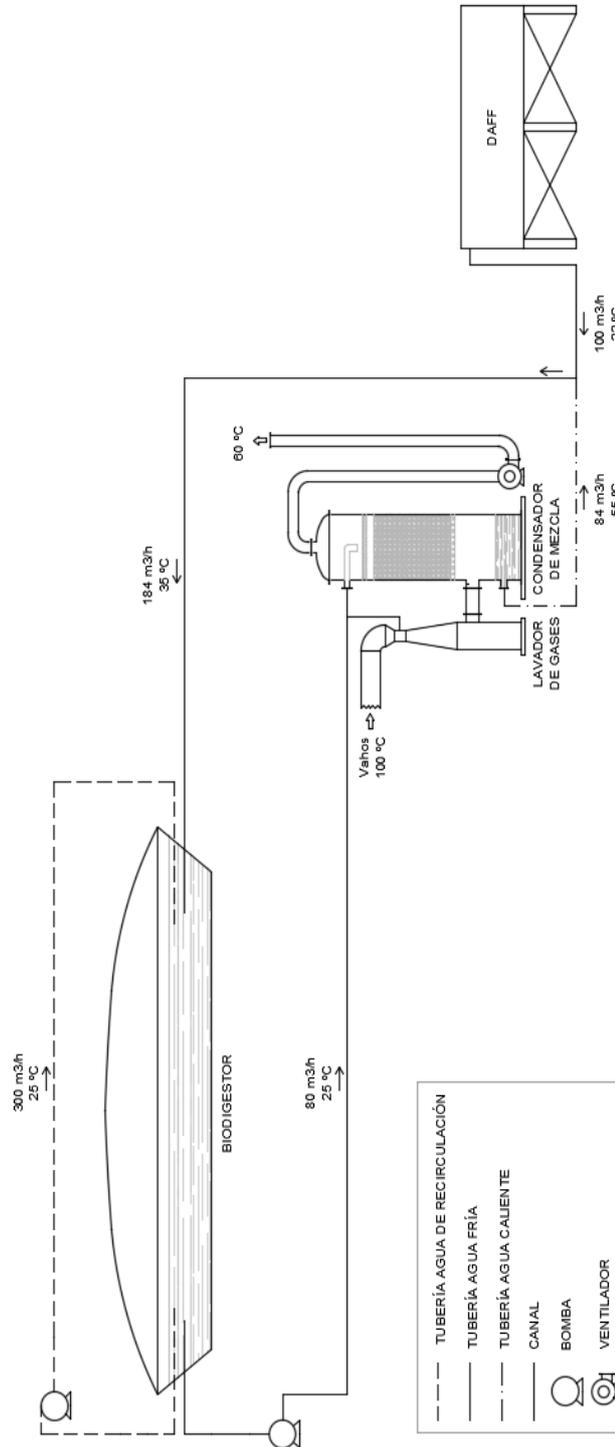


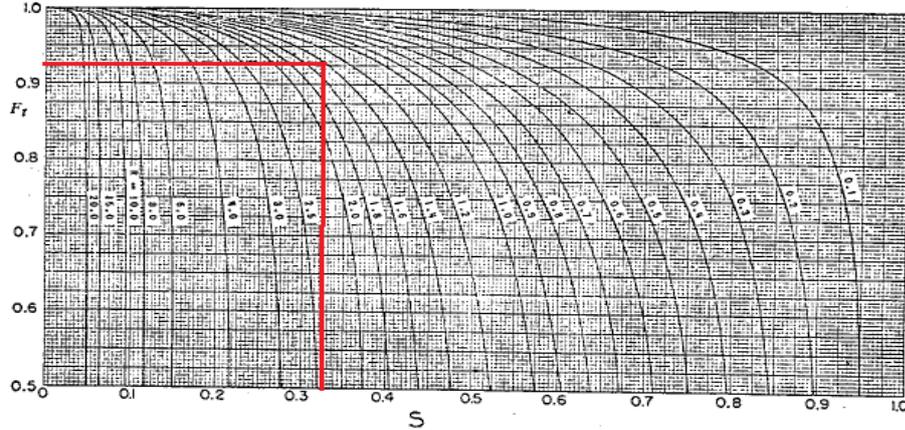
FIG. 18-38 Correlación generalizada de inundación y caída de presión para empaques. Para convertir pulgadas de agua por pie de altura empacada, en milímetros de agua por metro de altura empacada, multiplíquese por 83.31. [Eckert, Chem. Eng. Prog., 66 (3), 39 (1973)]

4.2.1.5. Esquema tentativo de la propuesta



### 4.3. Propuesta 3 – Acuocondensador e Intercambiador de casco y tubos

#### 4.3.1.1. Factor de corrección



#### 4.3.1.2. Coeficiente de transferencia aproximado

INTERCAMBIADORES

| Fluido caliente     | Fluido frío         | U (J/ s m <sup>2</sup> K) |
|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Agua                | agua                | 800-1600                  |
| Solventes orgánicos | agua                | 250-750                   |
| Gases               | agua                | 15-250                    |
| Aceites livianos    | agua                | 350-900                   |
| Aceites pesados     | agua                | 60-250                    |
| Solventes orgánicos | aceites livianos    | 120-400                   |
| Agua                | salmuera            | 600-1200                  |
| Solventes orgánicos | salmuera            | 150-500                   |
| Gases               | salmuera            | 15-250                    |
| Solventes orgánicos | solventes orgánicos | 120-350                   |
| Aceites pesados     | aceites pesados     | 45-250                    |

#### 4.3.1.3. Coeficiente de Colburn

CORRELACION PARA EL CALCULO DEL FACTOR j EN LA CARCASA  
(Regresión de los valores de la figura de la página 82)

$$j = (h/c G_m) Pr^{2/3} (\mu_w/\mu)^{0.14} \quad (\text{Ver definición de variables en el texto})$$

| INTERVALO                      | $Re_m < 100$ |       | $100 < Re_m < 3000$                  |       |        | $Re_m > 3000$ |       |
|--------------------------------|--------------|-------|--------------------------------------|-------|--------|---------------|-------|
|                                | $j = a Re^b$ |       | $\ln j = a + b \ln Re + c(\ln Re)^2$ |       |        | $j = a Re^b$  |       |
| Geometría y Relación $P_t/D_a$ | a            | b     | a                                    | b     | c      | a             | b     |
| → Δ 1,25                       | 1,81         | -0,72 | 1,70                                 | -1,25 | 0,065  | 0,275         | -0,38 |
| → □ 1,25                       | 0,97         | -0,62 | 3,29                                 | -1,90 | 0,121  | 0,275         | -0,38 |
| → ◇ 1,25                       | 1,81         | -0,72 | 0,32                                 | -0,76 | 0,025  | 0,275         | -0,38 |
| → Δ 1,5                        | 1,34         | -0,68 | 0,37                                 | -0,56 | 0,0087 | 0,275         | -0,38 |
| → □ 1,5                        | 0,88         | -0,64 | 1,61                                 | -1,34 | 0,062  | 0,275         | -0,38 |

4.3.1.4. *Coeficiente de transmisión de calor*

APENDICE 22

RESISTENCIAS DE ENSUCIAMIENTO  
(VALORES EN K m<sup>2</sup>/w)

Según TUBULAR EXCHANGERS MANUFACTURERS ASSOCIATION

RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO PARA AGUA

| Temperatura del medio calefactor . . . . .                 | HASTA 115 °C        |          | 115 – 205 °C        |          |
|--|---------------------|----------|---------------------|----------|
|  | 52 °C o menos       |          | más de 52 °C        |          |
|  | Veloc. del agua m/s |          | Veloc. del agua m/s |          |
| Agua   | 1 ó menos           | más de 1 | 1 ó menos           | más de 1 |
| Agua de mar . . . . .                                      | 0,0009              | 0,0009   | 0,0002              | 0,0002   |
| Aguas salobres . . . . .                                   | 0,0004              | 0,0002   | 0,0005              | 0,0004   |
| Torre de enfriamiento y tanque con rocío artificial:       |                     |          |                     |          |
| Agua de compensación tratada . . . . .                     | 0,0002              | 0,0002   | 0,0004              | 0,0004   |
| Sin tratar . . . . .                                       | 0,0005              | 0,0005   | 0,0008              | 0,0007   |
| Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos) . . . . . | 0,0002              | 0,0002   | 0,0004              | 0,0004   |
| Grandes Lagos . . . . .                                    | 0,0002              | 0,0002   | 0,0004              | 0,0004   |
| Agua de río:   |                     |          |                     |          |
| Mínimo . . . . .   | 0,0004              | 0,0002   | 0,0005              | 0,0004   |
| Máximo (agua cloacales) . . . . .                          | 0,0015              | 0,0010   | 0,0017              | 0,0014   |
| Lodosa o turbia . . . . .                                  | 0,0005              | 0,0004   | 0,0007              | 0,0005   |
| Dura (más de 15 gramos/gal) . . . . .                      | 0,0005              | 0,0005   | 0,0009              | 0,0009   |
| Enfriamiento de máquinas . . . . .                         | 0,0002              | 0,0002   | 0,0002              | 0,0002   |
| Destilada . . . . .  | 0,0009              | 0,0009   | 0,0009              | 0,0009   |
| Alimentación tratada para calderas . . . . .               | 0,0002              | 0,0009   | 0,0002              | 0,0002   |
| Purga de calderas . . . . .                                | 0,0004              | 0,0004   | 0,0004              | 0,0004   |

\* Las cifras de las últimas dos columnas se basan en una temperatura del medio calefactor de 115 °C a 205 °C. Si la temperatura de este medio es mayor de 205 °C, y se sabe que el medio enfriador forma depósitos, estas cifras deben modificarse convenientemente.

4.3.1.5. *Factor de fricción "F"*

CORRELACION PARA EL CALCULO DEL FACTOR f EN LA CARCASA

(Regresión de los valores de la figura de la página 82)

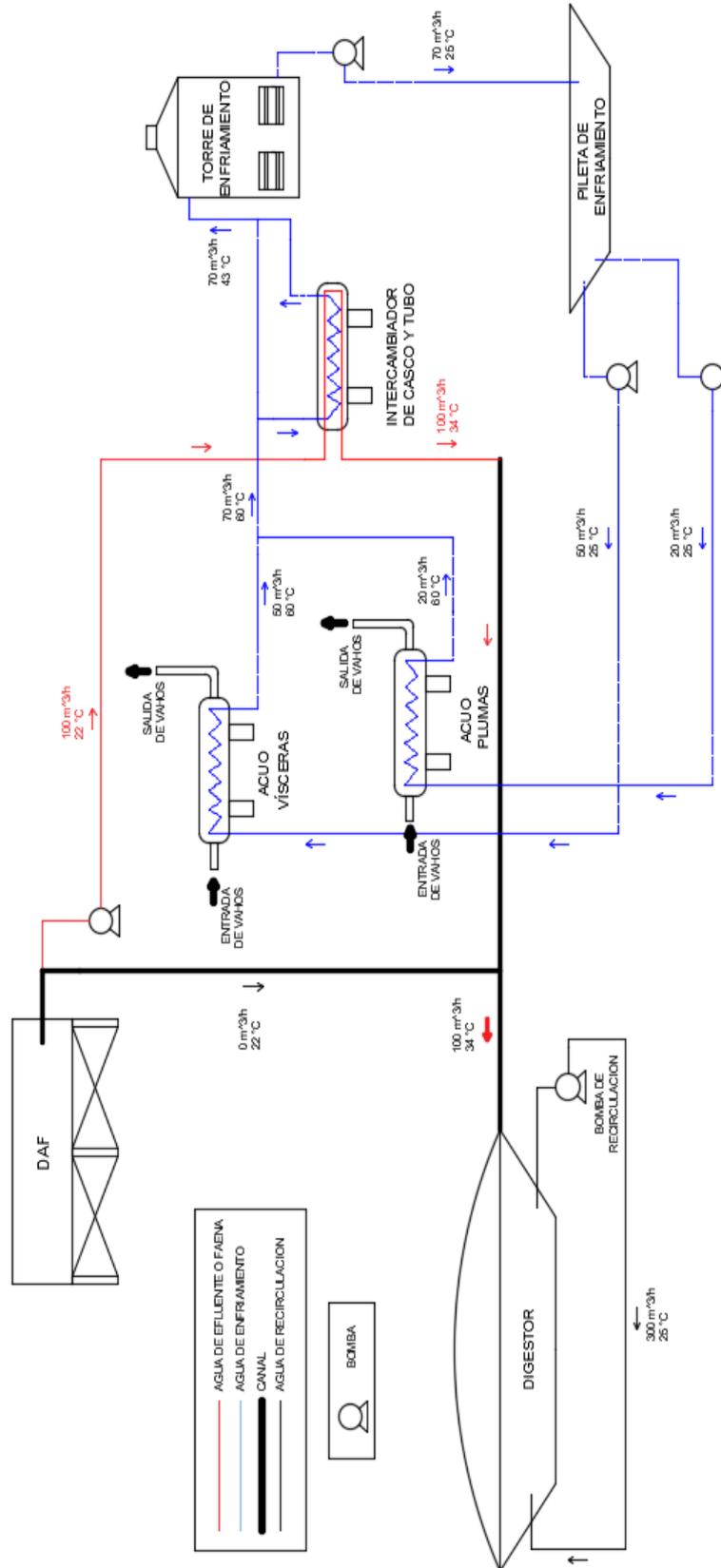
$$f = (2\rho \Delta p/4 Nc G_m^2) (\mu/\mu_w)^m$$

(Ver definición de variables en el texto)

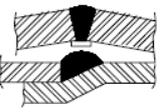
$$\ln f = a + b \ln Re_m + c (\ln Re_m)^2 + d (\ln Re_m)^3$$

| INTERVALO | Re <sub>m</sub> < 100 |        |        |   | 100 < Re <sub>m</sub> < 1300 |        |         |          | 1300 < Re <sub>m</sub> < 3000 |        |         |          | Re <sub>m</sub> > 3000 |        |         |          |
|-----------|-----------------------|--------|--------|---|------------------------------|--------|---------|----------|-------------------------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|---------|----------|
|           | a                     | b      | c      | d | a                            | b      | c       | d        | a                             | b      | c       | d        | a                      | b      | c       | d        |
| → Δ 1,25  | 4,376                 | -1,025 | 0      | 0 | 5,293                        | -1,884 | 0,1584  | -0,00472 | 5,293                         | -1,864 | 0,1584  | -0,00472 | 5,293                  | -1,864 | 0,1584  | -0,00472 |
| → □ 1,25  | 3,923                 | -0,984 | 0      | 0 | 3,871                        | -0,498 | -0,2052 | 0,0221   | 3,871                         | -0,498 | -0,2052 | 0,0221   | -7,907                 | 1,774  | -0,160  | 0,00407  |
| → ○ 1,25  | 3,923                 | -0,984 | 0      | 0 | 6,30                         | -2,403 | 0,226   | -0,00721 | 6,30                          | -2,403 | 0,226   | -0,00721 | 6,30                   | -2,403 | 0,226   | -0,00721 |
| → Δ 1,5   | 3,196                 | -1,176 | 0,0557 | 0 | 3,472                        | -1,547 | 0,1425  | -0,00454 | 3,472                         | -1,547 | 0,1425  | -0,00454 | 3,472                  | -1,547 | 0,1425  | -0,00454 |
| → □ 1,5   | 3,04                  | -1,13  | 0,031  | 0 | -8,015                       | 5,152  | -1,166  | 0,0771   | -6,666                        | 1,152  | -0,0981 | 0,00237  | -6,666                 | 1,152  | -0,0981 | 0,00237  |

4.3.1.6. Esquema tentativo de la propuesta



4.3.1.7. Eficiencia de soldadura

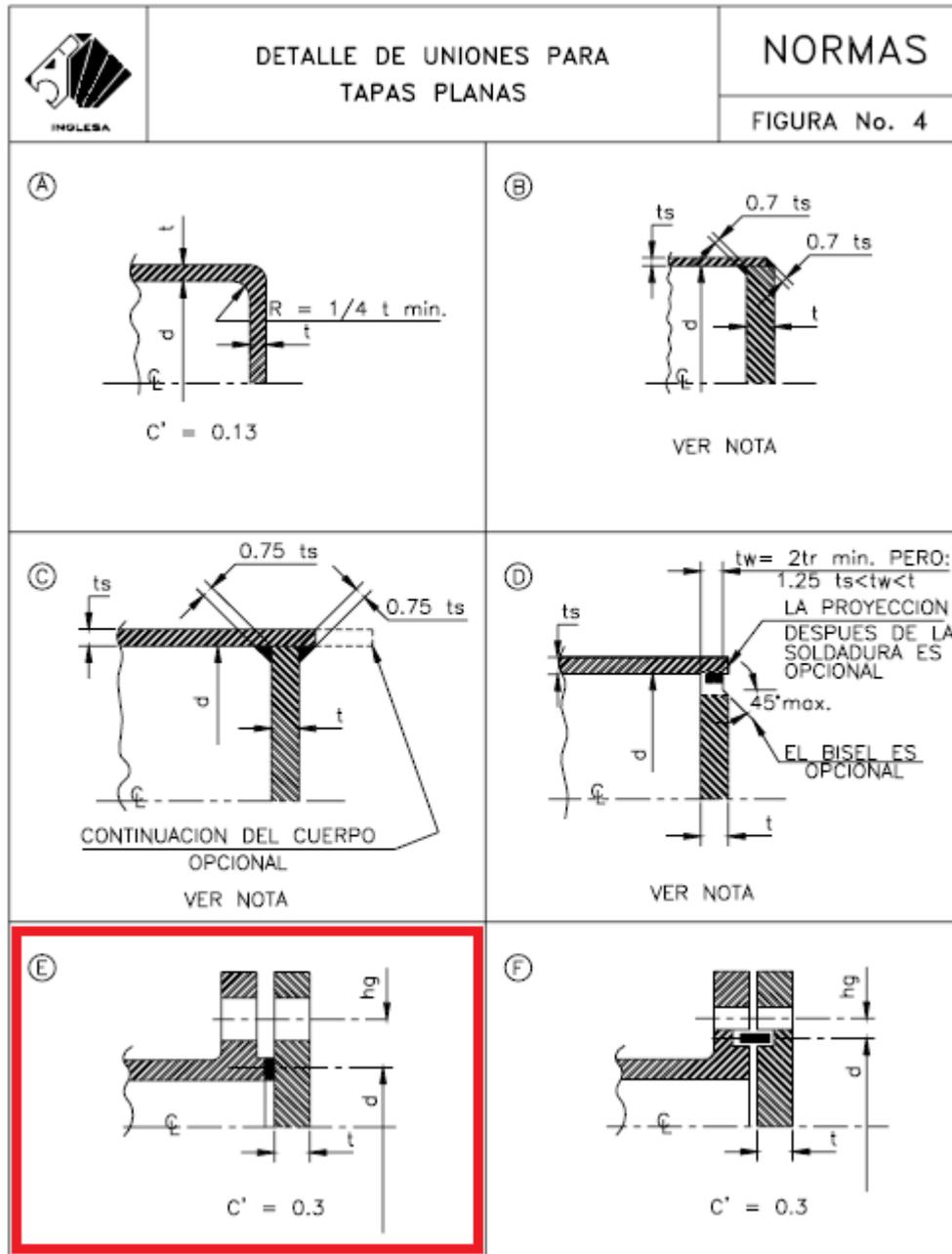
| TIPOS DE UNIONES<br>NORMA UW-12   |   | EFICIENCIA DE LA UNION<br>CUANDO LA JUNTA ESTA<br>RADIOGRAFIADA |               |      |
|---|---|---|---------------|------|
|   |   | AL<br>100 %   | POR<br>PUNTOS | SIN  |
|  | SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR. | 1.00  | 0.85          | 0.70 |
|  | SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.   | 0.90  | 0.80          | 0.65 |
|  | UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO  | ---   | ---           | 0.60 |

4.3.1.8. Espesor de carcasa o envolvente según norma TEMA

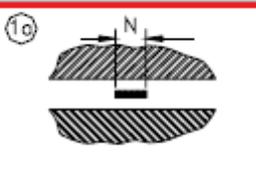
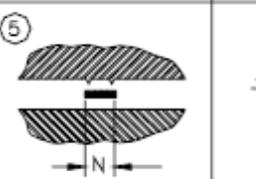
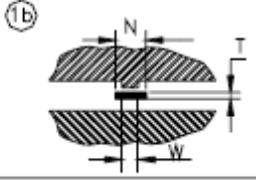
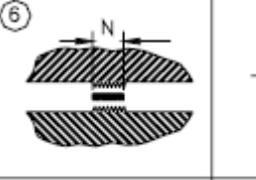
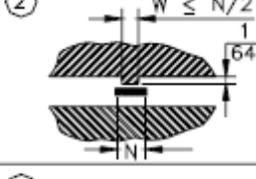
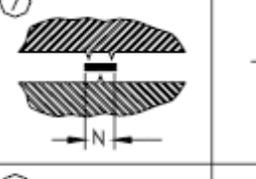
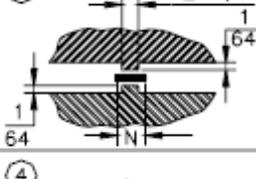
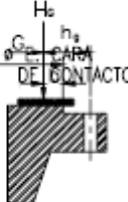
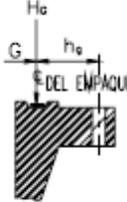
TABLE CB-3.13  
MINIMUM SHELL THICKNESS  
Dimensions In Inches (mm)

| Nominal Shell Diameter | Minimum Thickness |             |            |  |
|------------------------|-------------------|-------------|------------|--|
|                        | Carbon Steel      |             | Alloy *    |  |
|                        | Pipe              | Plate       |            |  |
| 6 (152)                | SCH. 40           | -           | 1/8 (3.2)  |  |
| 8 - 12 (203-305)       | SCH. 30           | -           | 1/8 (3.2)  |  |
| 13 - 23 (330-584)      | SCH. 20           | 5/16 (7.9)  | 1/8 (3.2)  |  |
| 24 - 29 (610-737)      | -                 | 5/16 (7.9)  | 3/16 (4.8) |  |
| 30 - 39 (762-991)      | -                 | 3/8 (9.5)   | 1/4 (6.4)  |  |
| 40 - 60 (1016-1524)    | -                 | 7/16 (11.1) | 1/4 (6.4)  |  |
| 61 - 80 (1549-2032)    | -                 | 1/2 (12.7)  | 5/16 (7.9) |  |
| 81 - 100 (2057-2540)   | -                 | 1/2 (12.7)  | 3/8 (9.5)  |  |

4.3.1.9. *Detalle de uniones para tapas planas*



4.3.1.10. Ancho efectivo de asentamiento del empaque "b"

|   | ANCHO EFECTIVO DEL ASENTAMIENTO DEL EMPAQUE "b" |                                |  |                                   | NORMAS          |            |
|--|---|--------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------|------------|
|  | TIPO DE CARA                                    | bo                             |  | TIPO DE CARA                      | bo              |            |
|  |   | columna I                      | columna II   |                                   | columna I       | columna II |
|   | $\frac{N}{2}$                                   | $\frac{N}{2}$                  |    | $\frac{3N}{8}$                    | $\frac{7N}{16}$ |            |
|   | $\frac{W + T}{4} \text{ max.}$                  | $\frac{W + T}{4} \text{ max.}$ |    | $\frac{N}{4}$                     | $\frac{3N}{8}$  |            |
|    | $\frac{W + N}{4}$                               | $\frac{W + 3N}{8}$             |   | $\frac{N}{4}$                     | $\frac{3N}{8}$  |            |
|   | $\frac{W}{2}$<br>$\frac{N}{4} \text{ min.}$     | $\frac{3N}{8}$                 |    | $\frac{W}{8}$                     |                 |            |
|   | $\frac{3N}{8}$                                  | $\frac{7N}{16}$                | LOCALIZACION DE LA CARGA DE REACCION DE DEL EMPALME<br>  |                                   |                 |            |
| ANCHO EFECTIVO DEL ASENTAMIENTO DEL EMPAQUE "b"<br>$b = bo$ ,CUANDO $bo < 1/4"$<br>$b = \frac{\sqrt{bo}}{2}$ ,CUANDO $bo > 1/4"$ |   |                                |  | PARA $bo > 1/4"$ PARA $bo < 1/4"$ |                 |            |

**4.3.1.11. Material del empaque**

| MATERIAL DEL EMPAQUE   |                              | FACTOR DE EMPAQUE m | ESFUERO DE "y" | FORMA Y TIPO | REFERIDO A LA FORMA DE CARA | TABLA 2 USE COLUMNA |
|--|------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| HULE SIN TEJER O UN ALTO PORCENTAJE DE FIBRA DE ASBESTO            | CON DUREZA SHORE MENOR DE 75 | 0.50                | 0              |              | 1(a,b,c,d)<br>4,5           |                     |
|  | CON DUREZA SHORE 75 Y MAYOR  | 1.00                | 200            |              |                             |                     |
| ASBESTO CON UN LIGADO ACEPTABLE PARA LAS CONDICIONES DE OPERACION  | 1/8 ESPESOR                  | 2.00                | 1600           |              |                             |                     |
|  | 1/16 ESPESOR                 | 2.75                | 3700           |              |                             |                     |
|  | 1/32 ESPESOR                 | 3.50                | 6500           |              |                             |                     |
| HULE CON TEJIDO DE ALGODON INSERTADO                               |                              | 1.25                | 400            |              |                             |                     |
| HULE CON TEJIDO DE ASBESTO INSERTADO CON O SIN REFUERZO DE ALAMBRE | 3 JUEGOS                     | 2.26                | 2200           |              |                             |                     |
|  | 2 JUEGOS                     | 2.50                | 2900           |              |                             |                     |
|  | 1 JUEGO                      | 2.75                | 3700           |              |                             |                     |
| FIBRAS VEGETALES   |                              | 1.75                | 1100           |              |                             |                     |

**4.3.1.12. Espesor de deflectores según norma TEMA**

| DIÁMETRO INTERIOR DE LA CARCAZA | ESPESOR DE PLACA            |         |         |         |            |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|------------|
|                                 | DISTANCIA ENTRE DEFLECTORES |         |         |         |            |
|                                 | 24 Y MENORES                | 24 A 36 | 36 A 48 | 48 A 60 | MAYOR A 60 |
| 6 - 14                          | 1/8                         | 3/16    | ¼       | 3/8     | 3/8        |
| 15 - 28                         | 3/16                        | ¼       | 3/8     | 3/8     | ½          |
| 29 - 38                         | 5/15                        | 5/16    | 3/8     | ½       | 5/8        |
| 39 - 60                         | 3/8                         | 3/8     | 1/2     | 5/8     | 5/8        |

**4.3.1.13. Barras separadoras según norma TEMA**

| Diámetro de carcasa (m) | Diámetro de las barras separadoras (mm) | Mínimo número de barras separadoras |
|-------------------------|---|-------------------------------------|
| 0,20 – 0,38             | 10                                      | 4                                   |
| 0,40 – 0,68             | 10                                      | 6                                   |
| 0.70 – 0,84             | 12                                      | 6                                   |
| 0,86 – 1,22             | 12                                      | 8                                   |
| 1,24 y más              | 12                                      | 10                                  |

## 4.4. Equipos de bombeo

### 4.4.1.1. Tabla de tuberías Aldyl

Esesores mínimos de tuberías (ISO4427 / EN12201) y forma de empaque

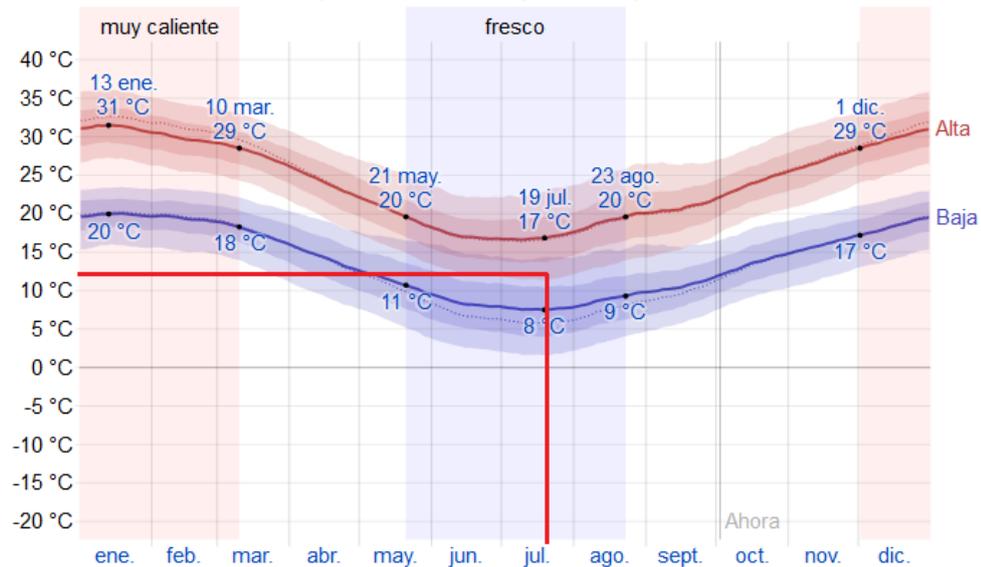
| Diámetro (mm) | SDR 26 | SDR 21 | SDR 17 | SDR 13.6 | SDR 11 | SDR 9 | Carga estimada por camión playo de 12m | Diám. Externo Bobina SDR11x 100m |
|---------------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|--|----------------------------------|
| 20            | -----  | -----  | -----  | -----    | 2.0    | 2.3   | 200 rollos                             | 0.90                             |
| 25            | -----  | -----  | -----  | 2.0      | 2.3    | 2.8   | 200 rollos                             | 0.90                             |
| 32            | -----  | -----  | 2.0    | 2.4      | 3.0    | 3.6   | 96 rollos                              | 1.00                             |
| 40            | -----  | 2.0    | 2.4    | 3.0      | 3.7    | 4.5   | 72 rollos                              | 1.40                             |
| 50            | 2.0    | 2.4    | 3.0    | 3.7      | 4.6    | 5.6   | 66 rollos                              | 1.50                             |
| 63            | 2.5    | 3.0    | 3.8    | 4.7      | 5.8    | 7.1   | 42 rollos                              | 1.65                             |
| 75            | 2.9    | 3.6    | 4.5    | 5.6      | 6.8    | 8.4   | 25 rollos                              | 2.00                             |
| 90            | 3.5    | 4.3    | 5.4    | 6.7      | 8.2    | 10.1  | 25 rollos / 477 tramos                 | 2.60                             |
| 110           | 4.2    | 5.3    | 6.6    | 8.1      | 10.0   | 12.3  | 16 rollos / 297 tramos                 | 2.95                             |
| 125           | 4.8    | 6.0    | 7.4    | 9.2      | 11.4   | 14.0  | 16 rollos / 252 tramos                 | 3.30                             |
| 140           | 5.4    | 6.7    | 8.3    | 10.3     | 12.7   | 15.7  | 168 tramos empaq.                      | -----                            |
| 160           | 6.2    | 7.7    | 9.5    | 11.8     | 14.6   | 17.9  | 168 tramos empaq.                      | -----                            |
| 180           | 6.9    | 8.6    | 10.7   | 13.3     | 16.4   | 20.1  | 132 tramos empaq.                      | -----                            |
| 200           | 7.7    | 9.6    | 11.9   | 14.7     | 18.2   | 22.4  | 96 tramos empaq.                       | -----                            |
| 225           | 8.6    | 10.8   | 13.4   | 16.6     | 20.5   | 25.2  | 72 tramos empaq.                       | -----                            |
| 250           | 9.6    | 11.9   | 14.8   | 18.4     | 22.7   | 27.9  | 72 tramos empaq.                       | -----                            |
| 280           | 10.7   | 13.4   | 16.6   | 20.6     | 25.4   | 31.3  | 72 tramos empaq.                       | -----                            |
| 315           | 12.1   | 15.0   | 18.7   | 23.2     | 28.6   | 35.2  | 48 tramos empaq.                       | -----                            |
| 355           | 13.6   | 16.9   | 21.1   | 26.1     | 32.2   | 39.7  | 39 tramos                              | -----                            |
| 400           | 15.3   | 19.1   | 23.7   | 29.4     | 36.3   | 44.7  | 32 tramos                              | -----                            |
| 450           | 17.2   | 21.5   | 26.7   | 33.1     | 40.9   | 50.3  | 23 tramos                              | -----                            |
| 500           | 19.1   | 23.9   | 29.7   | 36.8     | 45.4   | 55.8  | 21 tramos                              | -----                            |
| 560           | 21.4   | 26.7   | 33.2   | 41.2     | 50.8   | ----- | 14 tramos                              | -----                            |
| 630           | 24.1   | 30.0   | 37.4   | 46.3     | 57.2   | ----- | 12 tramos                              | -----                            |

El espesor mínimo para tuberías de servicio (< 40mm) varía según la normativa de cada país. En color lo indicado en IRAM 13485.

## 4.5. Cálculos térmicos del biodigestor

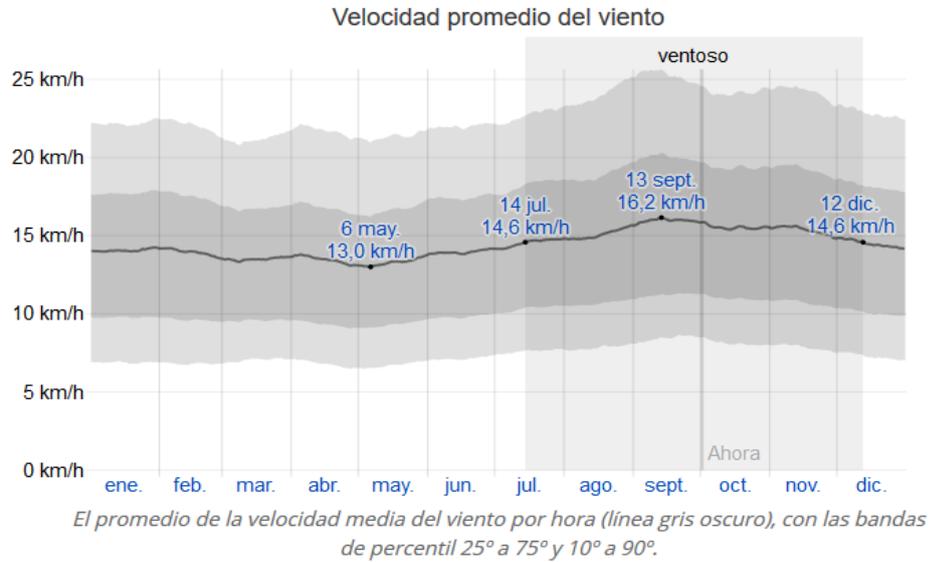
### 4.5.1.1. Valores de temperatura promedio anual

Temperatura máxima y mínima promedio



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria

#### 4.5.1.2. Velocidad de viento promedio anual

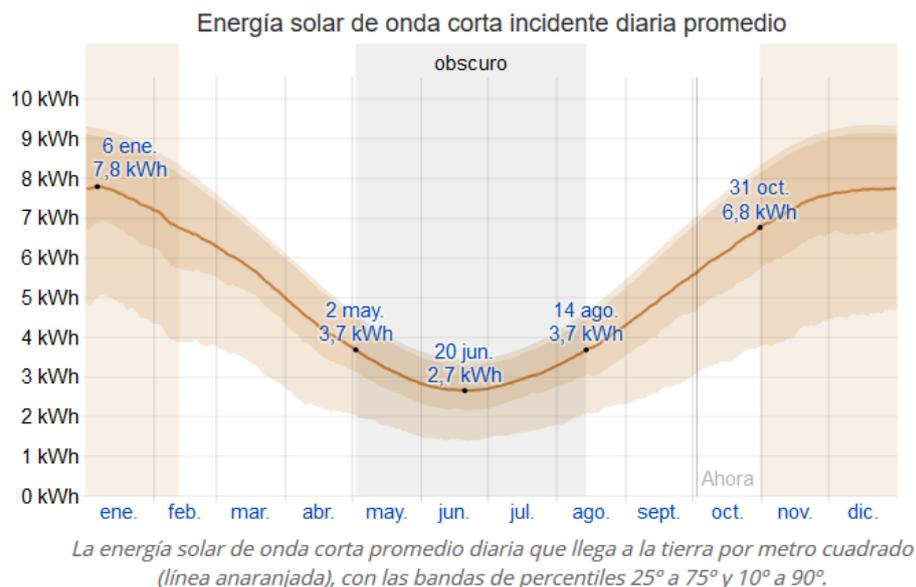


#### 4.5.1.3. Coeficiente pelicular

| Fuente           | Situación | Viento m/s  | Ecuación                                       |
|------------------|-----------|-------------|--|
| Ho, Oka y Kinuwa | Expuesta  | $0 < v < 2$ | $h = 11.7 + 0.3 * v$                           |
|                  |           | $2 < v < 8$ | $h = 6.7 + 2.8 * v$                            |
|                  |           | $8 < v$     | $h = 15 + 1.8 * v$                             |
| Kimura.K.        | Remanso   | $0 < v < 2$ | $h = 9 + 0.7 * v$                              |
|                  | Expuesta  | $2 < v$     | $h = 11.7 + 0.3 * v$<br>$h = 8.05 * v^{0.605}$ |
|                  | Remanso   |             | $h = 8.05 * (1.2 + 0.2v)^{0.605}$              |

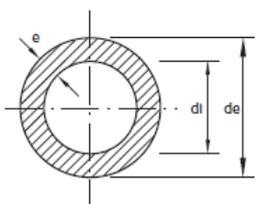
Tabla 4.7 Ecuaciones de conversión forzadas según Kimura et al. [ASHRAE Alg.p.77]

#### 4.5.1.4. Radiación solar promedio anual



## 4.6. Planta de extracción de biogás

### 4.6.1.1. Tabla de tubos Acqua System



| Código      | PN | dn(mm.) | de  | di   | e   | secc.int | Peso  |
|-------------|----|---------|-----|------|-----|----------|-------|
| 08112020000 | 12 | * 20    | 20  | 16.2 | 1.9 | 2.06     | 0.107 |
| 08112025000 | 12 | * 25    | 25  | 20.4 | 2.3 | 3.27     | 0.162 |
| 08112032000 | 12 | 32      | 32  | 26   | 3   | 5.31     | 0.267 |
| 08112040000 | 12 | 40      | 40  | 32.6 | 3.7 | 8.35     | 0.415 |
| 08112050000 | 12 | 50      | 50  | 40.8 | 4.6 | 13.07    | 0.643 |
| 08112063000 | 12 | 63      | 63  | 51.4 | 5.8 | 20.75    | 1.016 |
| 08112075000 | 12 | 75      | 75  | 61.2 | 6.9 | 29.42    | 1.451 |
| 08112090000 | 12 | 90      | 90  | 73.6 | 8.2 | 42.54    | 2.068 |
| 08112110000 | 12 | 110     | 110 | 90   | 10  | 63.62    | 2.57  |

PN: 12  
Agua fría

### 4.6.1.2. Tabla de tubos Aldyl

| — CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES Y DE EMPAQUE PARA CAÑERÍAS DE GAS |     |                     |  |                                   |                                |
|---|-----|---------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------|
| Diámetro  | SDR | Espesor mínimo (mm) | Forma de Provisión STD                   | Carga en camión playo de 12 (mts) | Diámetro exterior Bobina (mts) |
| 20  | 11  | 2.3-3.0             | Rollos de 150 (mts)                      | 200 Rollos                        | 1.10                           |
| 25  | 11  | 2.3-3.0             | Rollos de 150 (mts)                      | 200 Rollos                        | 1.10                           |
| 32  | 11  | 3.0                 | Rollos de 150 (mts)                      | 96 Rollos                         | 1.20                           |
| 40  | 11  | 3.7                 | Rollos de 150 (mts)                      | 72 Rollos                         | 1.60                           |
| 50  |     | 4.6                 | Rollos de 150 (mts)                      | 66 Rollos                         | 1.82                           |
| 63  | 11  | 5.8                 | Rollos de 150 (mts)                      | 42 Rollos                         | 1.82                           |
| 75  | 11  | 6.8                 | Rollos de 150 (mts)                      | 25 Rollos                         | 2.50                           |
| 90  | 11  | 8.2                 | Rollos de 100 (mts) / Tramos de 12 (mts) | 25 Rollos / 477 tramos            | 2.60                           |
| 110   | 11  | 10.0                | Rollos de 100 (mts) / Tramos de 12 (mts) | 16 Rollos / 297 tramos            | 2.95                           |
| 125   | 11  | 11.4                | Rollos de 70 (mts) / Tramos de 12 (mts)  | 16 Rollos / 252 tramos            | 3.30                           |
| 160   | 11  | 14.6                | Tramos de 12 (mts)                       | 168 Tramos empaquetados           | —                              |

## 5. ANEXO 3 – Normativas

No hay ningún ente nacional que controle el desarrollo, uso y/o fomento de las energías renovables no convencionales. Por lo que se tendrá en consideración lo establecido por las normas de la república de Chile.

### 5.1. Normativas Ministerio De Salud

- Para todos los fines de este proyecto se utilizará la definición de biogás señalada en la norma chilena NCh3213 of 2010 Biometano - Especificaciones.

- Para la construcción y seguridad de la planta de biogás se utilizará la norma chilena CVE1176358.

## 5.2. Normativas Técnicas

- **ASME** - Sección VIII, división I (UG-27)  
Calculo de espesor de recipiente bajo presión interna. Diseño.
- **ASME** – Sección VIII, división I (UG-32)  
Diseño de cabezales y sección formadas.
- **ASME** – Sección VIII, división I (UG-33)  
Diseño de cabezales y sección formadas.
- **TEMA** – Sección RCB-11  
Calculo de espesor de recipiente bajo presión interna.
- **AEA** – 90364  
Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles.

## 6. ANEXO 4 – Glosario

**Anaeróbico:** término que significa "vida sin aire" (donde "aire" usualmente es oxígeno), puede referirse a: ... El organismo anaeróbico u organismo anaerobio; un organismo que no requieren oxígeno para crecer.

**Baffles:** discos que se colocan perpendiculares a los tubos y soportan a los mismos, previniendo la vibración.

**Bioabono:** Sustancia de origen natural procedente de los seres vivos, que aporta al suelo y las plantas nutrientes para su buen desarrollo.

**Biogás:** mezcla de gases que se obtiene a partir de la digestión anaeróbica, cuyos principales componentes son metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

**Biomasa:** es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e inorgánica formada en algún proceso biológico o mecánico.

**DAF:** (Sistema de flotación por aire disuelto), es un sistema que se encarga de separar las partículas en suspensión mediante microburbujas de aire, en una solución sobresaturada.

**Deflector:** dispositivo que sirve para cambiar o desviar la dirección de la corriente de un fluido.

**Difusividad:** es un índice que expresa la velocidad de cambio, y flujo de temperaturas, en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico.

**Digestor:** es básicamente es un cilindro o contenedor sellado, por donde entran las materias a tratar, convenientemente humedecidas.

**Efluentes:** término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua.

**Empaque:** material de relleno de formas aleatorias que proporcionan una gran superficie de contacto entre fluidos.

**GLP:** gas licuado del petróleo.

**Hidrólisis:** Se conoce como hidrólisis a una reacción química determinada, en la que moléculas de agua se dividen en sus átomos componentes (H<sub>2</sub>O: hidrógeno y oxígeno) y forman uniones distintas con alguna otra sustancia involucrada, alterándola en el proceso.

**Hidrolizador:** son equipos diseñados para realizar la hidrólisis de plumas, el proceso realizado por este equipo consiste en someter la materia prima, controlada y continuamente a una relación de temperatura y presión durante un determinado tiempo.

**Imputrescibles:** Que no puede pudrirse o corromperse.

**Incrustaciones:** acción y el efecto de cubrirse una superficie con una costra mineral, precipitada a partir de sustancias disueltas en el agua.

**NPSH:** altura neta positiva en la aspiración.

**PDC:** pérdida de carga.

**PFC:** proyecto final de carrera

**Purines:** son cualquiera de los residuos de origen orgánico, como aguas residuales y restos de vegetales, cosechas, semillas, concentraciones de animales muertos, etc., con capacidad de fermentar o fermentados que tienen impacto medioambiental.

**Subproductos:** producto secundario que se obtiene además del principal en un proceso industrial de elaboración, fabricación o extracción.

**Vahos:** son gases que surgen del proceso de secado o la cocción de diferentes productos.

**Vertedero:** espacio en el cual se pueden verte cosas. Este verbo (verter), por su parte, alude a derramar un líquido o a arrojar algún tipo de elemento.

## 7. ANEXO 5 – Bibliografía

### LIBROS

- **ROBERT H. PERRY** - Manual Del Ingeniero Químico (6ª ED).
- **EDUARDO CAO** - Intercambiadores De Calor.

### PÁGINAS WEB

- <https://es.weatherspark.com/> - Página meteorológica.
- <https://es.wikipedia.org> - Enciclopedia de contenido libre.

**ANEXO 3:  
SOLICITUD DE FECHA PARA PRESENTACIÓN DEL PFC**

**A Completar por el Alumno cuando se inscriba para la Defensa**

**Datos del alumno:**

- **Apellido y Nombres:** Albornoz Solda, Brian Nahuel
- **Direcciones de E-mail:** [Briann.nas@gmail.com](mailto:Briann.nas@gmail.com)
- **Número de Legajo:** 14105872
- **Documento de Identidad:** 37923433
- **Domicilio:** Tibiletti 594
- **Localidad:** Concepcion Del Uruguay
- **Teléfono:** 03446-15664553
- **Año de Ingreso, (plan de estudio):** 2012, 1995A. V4
- **Fecha de inscripción:** 13/12/2019
- **Título del PFC:** Aprovechamiento energético y mejoras ambientales en planta Fadel S.A.

\_\_\_\_\_  
Firma del Alumno

**Conformidad del Profesor a cargo de “Proyecto Final” y del Tutor.**

**Constancia de que el Trabajo está terminado y en condiciones de ser presentado para su Pre-evaluación.:**

.....  
Firma del Profesor a cargo de “Proyecto Final”

.....  
Firma del/los Tutor/es

**ANEXO 3:  
SOLICITUD DE FECHA PARA PRESENTACIÓN DEL PFC**

**A Completar por el Alumno cuando se inscriba para la Defensa**

**Datos del alumno:**

- **Apellido y Nombres:** Euler, Roberto Javier
- **Direcciones de E-mail:** javi-euler@hotmail.com
- **Número de Legajo:** 14102044
- **Documento de Identidad:** 37081574
- **Domicilio:** Colonia Perfección S/N
- **Localidad:** Concepción del Uruguay
- **Teléfono:** (03442) 15515703
- **Año de Ingreso, (plan de estudio):** 2011, 1995A.V4
- **Fecha de inscripción:** 13/12/2019
- **Título del PFC:** Aprovechamiento energético y mejoras ambientales en planta Fadel S.A.

\_\_\_\_\_  
**Firma del Alumno**

**Conformidad del Profesor a cargo de “Proyecto Final” y del Tutor.**

**Constancia de que el Trabajo está terminado y en condiciones de ser presentado para su Pre-evaluación.:**

.....  
**Firma del Profesor a cargo de “Proyecto Final”**

.....  
**Firma del/los Tutor/es**

**ANEXO 3:  
SOLICITUD DE FECHA PARA PRESENTACIÓN DEL PFC**

**A Completar por el Alumno cuando se inscriba para la Defensa**

**Datos del alumno:**

- **Apellido y Nombres:** Pennesi Carlos Martin
- **Direcciones de E-mail:** Martinpennesi@gmail.com
- **Número de Legajo:** 14102640
- **Documento de Identidad:** 36380927
- **Domicilio:** Echaverry 780, Depto 2.
- **Localidad:** Concepcion Del Uruguay
- **Teléfono:** 0345-154927048
- **Año de Ingreso, (plan de estudio):** 2011, 1995A.V4
- **Fecha de inscripción:** 13/12/2019
- **Título del PFC:** Aprovechamiento energético y mejoras ambientales en planta Fadel S.A.

\_\_\_\_\_  
**Firma del Alumno**

**Conformidad del Profesor a cargo de “Proyecto Final” y del Tutor.**

**Constancia de que el Trabajo está terminado y en condiciones de ser presentado para su Pre-evaluación.:**

.....  
**Firma del Profesor a cargo de “Proyecto Final”**

.....  
**Firma del/los Tutor/es**

## CONCLUSIÓN FINAL

Mediante el trabajo aquí presentado hemos logrado profundizar en los conocimientos adquiridos en la carrera de Ing. Electromecánica. Además, nos enfrentamos a nuevos desafíos para los cuales nos fue necesario investigar diferentes áreas y consultar con distintas personas las incertidumbres que iban surgiendo a medida que se progresaba.

Sin entrar demasiado en detalles, queremos hacer mención de aquellas tareas que resultaron para nosotros más complejas de lo esperado:

- Hacer el contacto con los proveedores de equipos e insumos para que nos proporcionen los datos correspondientes de los mismos y conseguir la cotización de la totalidad de la lista de materiales que requiere este proyecto, lo cual muchas veces nos ralentizaba en el avance del mismo.
- Realizar un sistema de codificación para los equipos y accesorios antes de tener en claro cuáles serían o dónde estarían ubicados.

A pesar de las dificultades, concluimos con la satisfacción de haber llegado a la meta, logrando un buen equipo de trabajo y expectantes por la nueva etapa que comienza.

Muchas gracias.