

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



“Diseño y factibilidad de una planta de biogás en una vitivinícola”

Informe de Habilitación Profesional
presentado en conformidad a los requisitos
para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor guía:
Sr. Jorge Gatica Sánchez

Diego Alfonso Escobar Morales

CONCEPCION

10-12-2015

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, hermanas y pareja por su apoyo constante e incondicional que me brindan cada día, son mi fuente de motivación y uno de los pilares fundamentales de mi vida.

Agradecer a los docentes del departamento de ingeniería de mí querida Universidad del Bio-Bio, en especial a los profesores Jorge Gatica Sánchez y Guillermo Reyes Torres quienes fueron de gran ayuda en este último proceso.

A mis amigos y compañeros quienes me acompañaron durante mi carrera, en especial a quienes me ayudaron en esta última etapa Sergio y Francisco.

A Sergio Martínez perteneciente al grupo Dos Andes S.A. por la paciencia y la buena disposición para ayudar.

RESUMEN

En la presente Habilitación Profesional se diseñó una planta de biogás para una vitivinícola y se evaluó la factibilidad técnica y económica de producir biogás a partir del orujo de la uva, con el cual se podrá generar energía eléctrica para autoconsumo y calor para proceso, mejorando la rentabilidad de la empresa y con esto aumentar su competitividad.

Para su diseño, se decidió optar por una instalación industrial de biodigestión, debido a su alta producción de orujo (6,4 toneladas/día en los meses de Febrero a Junio), con esta información se dimensionó el biodigestor de manera que permita almacenar por 15 días la mezcla de agua y orujo, obteniéndose así un volumen de 369 m³. Con esta materia prima se puede obtener una producción de 196.608 m³ de biogás al año y con ello se obtuvo el potencial eléctrico inestable de 134 kW, Con la potencia eléctrica antes mencionada y con 3600 horas de funcionamiento al año se determinó la energía anual a generar, la que corresponde a 487.816 kWh/año de energía eléctrica y 593.638 kWh/año de energía térmica. La energía eléctrica antes mencionada será utilizada para auto consumo y venta al SIC, y la energía térmica se utilizará para mantener las condiciones de proceso en el interior de los recipientes.

En cuanto al tema económico que implica instalar la planta de biogás, se realizó un análisis sobre la inversión, costos e ingresos que conforman el flujo de caja del proyecto. Este flujo de caja se analizó para 3 distintos escenarios de precios de la energía (pesimista, conservador y optimista), con lo cual se consideraron las variaciones futuras que pudiesen experimentar estos precios llegando a valores negativos en todos los escenarios respecto al VAN y TIR.

Según las evaluaciones anteriormente señaladas se concluyó que no es factible diseñar una planta de biogás que funcione a base de orujo en la vitivinícola Dos Andes S.A., Esto debido a que la producción de orujo solo es en los meses de febrero a Junio, por lo cual se obtiene un factor de planta de 42%, lo que hace que el proyecto de la planta de biogás no sea un proyecto rentable, sin embargo, al cambiar los materiales del biodigestor por un acero AISI 304 se obtienen resultados positivos (solo en caso conservador y optimista) en el VAN y TIR, pero debido a que este material es corroído al ser expuesto al ácido sulfhídrico no se recomendaría utilizarlo.

Pese a los resultados obtenidos se realizaron análisis de sensibilidad para determinar los factores que más influyen a la hora de llevar a cabo el proyecto, se hizo variar el precio de los bonos de carbono, el precio de la potencia eléctrica vendida y la tasa de interés, con esto se determinó que los primeros factores no son influyentes a la hora de determinar si realizar o no el proyecto, por el contrario al

variar la tasa de interés se obtuvieron resultados que varían en más de un 55%, por lo que la tasa de interés es un factor clave a la hora de decidir si realizar o no el proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 HIPÓTESIS	1
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	1
1.3.1 Objetivo general	1
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	2
1.6 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.6.1 Ubicación y antecedentes del lugar.....	3
1.6.2 Situación energética del sector.....	5
1.6.3 Situación del biogás en Chile.....	5
1.7 ANTECEDENTES CLIMÁTICOS.....	5
1.7.1 Descripción climatológica de la región del Biobío.....	5
1.7.2 Clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses	6
1.7.3 Clima templado cálido con una estación seca corta (menos de 4 meses)	6
1.7.4 Clima templado lluvioso con influencia mediterránea.....	7
1.7.5 Implicancia para el proyecto	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 HISTORIA DEL BIOGÁS	8
2.2 FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS BÁSICOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y DEL BIOGÁS	9
2.2.1 La Digestión Anaeróbica.....	9
2.2.2 Fases de la digestión anaeróbica	9
2.2.3 Orujos de uva	12
2.2.4 Productos finales de la digestión anaeróbica.....	13
2.2.5 Definición del biogás.	13
2.2.6 Características del biogás.....	14
2.2.7 Características generales de algunos sustratos utilizados	15
2.2.8 Usos del biogás.....	16

2.2.9	Bioabono	17
2.3	TECNOLOGÍA EMPLEADA PARA EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	17
2.3.1	Biodigestor	17
2.3.2	Características del Biodigestor.....	17
2.3.3	Clasificación de los biodigestores	18
2.3.4	Modelos de biodigestores.....	24
2.3.4.1	Biodigestores de cúpula móvil o hindú.....	24
2.3.4.2	Biodigestor de cúpula fija o chino.....	25
2.3.4.3	Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno ...	26
2.3.4.4	Biodigestor de estructura flexible	27
2.3.4.5	Instalaciones industriales de biodigestión	28
CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO.....		29
3.1	DEMANDAS ENERGÉTICAS.....	29
3.1.1	Consumo energético de la vitivinícola	29
3.2	CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL ORUJO.....	29
3.2.1	Volumen de orujo disponible	30
3.3	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO	32
3.4	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL BIODIGESTOR.....	32
3.4.1	Cálculo de las dimensiones del biodigestor	32
3.4.2	Volumen del biodigestor según cálculos de diseño	33
3.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA ENERGÍA DISPONIBLE.....	34
3.5.1	Posible producción de Biogás	34
3.5.2	Energía disponible.....	35
3.5.3	Selección del sistema de cogeneración	37
3.6	SELECCIÓN DEL BIODIGESTOR.....	37
3.7	CLASIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS.....	38
3.7.1	Tolva de recolección con picador y agitador de hélice sumergible	39
3.7.2	Estanque acondicionador de mezcla	40
3.7.3	Conducción del biogás	40
3.7.4	Tratamiento para la utilización del biogás	40
3.7.4.1	Elementos para tratar el biogás	40

3.7.5	Control de la planta de biogás.....	42
3.7.6	Mantenimiento del biodigestor.....	42
CAPÍTULO 4: DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS.		
.....		44
4.1	TUBERÍA A UTILIZAR PARA TRANSPORTE DEL ORUJO.....	44
4.2	PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS DE PVC.....	44
4.3	ENERGÍA REQUERIDA POR LAS BOMBAS.....	50
4.3.1	Elección de las bombas para transportar el orujo (ver Anexo 2).....	52
4.4	TUBERÍA A UTILIZAR PARA TRANSPORTAR EL AGUA EN LA LÍNEA DE CALEFACCIÓN.....	53
4.5	PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE.....	53
4.6	ENERGÍA REQUERIDA PARA LA BOMBA DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN.....	57
4.6.1	Elección de la bomba para el circuito de calefacción (ver Anexo 2).....	58
CAPÍTULO 5: BALANCE ENERGÉTICO DEL BIODIGESTOR E		
INTERCAMBIADOR.....		59
5.1	BALANCE ENERGÉTICO DEL BIODIGESTOR.....	59
5.1.1	Pérdidas de calor del biodigestor.....	61
5.2	BALANCE ENERGÉTICO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	65
5.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SERPENTÍN CALEFACTOR.....	71
CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		76
6.1	FLUJO DE CAJAS.....	76
6.1.1	Inversión estimada de la planta de biogás.....	76
6.1.2	Horizonte de evaluación del proyecto.....	77
6.1.3	Escenarios de precios de energía.....	77
6.1.4	Ingresos.....	78
6.1.4.1	Venta de energía.....	79
6.1.4.2	Venta de potencia.....	79
6.1.4.3	Venta de bonos de carbono.....	79
6.1.4.4	Ahorro de energía en autoconsumo.....	80
6.1.5	Costos.....	80
6.1.5.1	Costos de operación y mantenimiento.....	81

6.1.5.2 Costo por inversión en intangibles	81
6.1.6 Depreciaciones	82
6.2 RESULTADOS.....	82
6.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	82
6.3.1 Precio del bono de carbono	83
6.3.2 Precio Nudo de potencia	84
6.3.3 Sensibilidad al cambio de material.....	85
6.3.4 Tasa de descuento.....	86
CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXO 1: LONGITUDES EQUIVALENTES A PÉRDIDAS SINGULARES EN METROS.....	92
ANEXO 2: SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA PLANTA DE BIOGÁS.....	93
ANEXO 3: ELEMENTOS DE CONTROL	99
ANEXO 4: FLUJOS DE CAJA.....	103
ANEXO 5: PROPIEDADES DEL AGUA EN ESTADO DE SATURACIÓN	112

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: UBICACIÓN BODEGAS VALLE BIOBÍO.....	4
FIGURA 2.1: FASES DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	10
FIGURA 2.2: TEMPERATURAS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	11
FIGURA 2.3: ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES (SV) Y PRODUCCIÓN VOLUMÉTRICA DE GAS (Pv) EN UN DIGESTOR ANAERÓBICO, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN.....	12
FIGURA 2.4: ESQUEMA BÁSICO DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	13
FIGURA 2.5: EQUIVALENCIA DE BIOGÁS CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA.....	15
FIGURA 2.6: ESQUEMA BIODIGESTOR TIPO BATCH.....	19
FIGURA 2.7: BIODIGESTOR DE MEZCLA COMPLETA.....	20
FIGURA 2.8: BIODIGESTOR CON CONTACTO ANAERÓBICO.....	20
FIGURA 2.9: BIODIGESTOR U.A.S.B.....	21
FIGURA 2.10: BIODIGESTOR DE LECHO FLUIDIZADO.....	22
FIGURA 2.11: BIODIGESTOR DE FILTRO ANAERÓBICO.....	22
FIGURA 2.12: BIODIGESTOR DE UNA ETAPA.....	23
FIGURA 2.13: BIODIGESTOR DE DOS ETAPAS.....	23
FIGURA 2.14: BIODIGESTOR HINDÚ.....	25
FIGURA 2.15: BIODIGESTOR DE TIPO CHINO.....	26
FIGURA 2.16: BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE.....	28
FIGURA 3.1: ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL BIODIGESTOR.....	33
FIGURA 3.2: ESQUEMA DE PLANTA DE BIOGÁS.....	38
FIGURA 3.3: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.....	39
FIGURA 3.4: TRAMPA DE ÁCIDO SULFHÍDRICO.....	41
FIGURA 4.1: DESIGNACIÓN DE TRAMOS PARA LA LÍNEA DE TRANSPORTE DEL ORUJO.....	45
FIGURA 4.2: CARACTERÍSTICAS BOMBA 1.....	52
FIGURA 4.3: CARACTERÍSTICAS BOMBA 2.....	52
FIGURA 4.4: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DEL CIRCUITO DE CALEFACCION.....	58
FIGURA 5.1: RESULTADOS ANÁLISIS DE TENSIÓN DE VON MISES.....	60
FIGURA 5.2: FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDO AL ANÁLISIS DE TENSIÓN DE VON MISES.....	61
FIGURA 5.3: ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL COGENERADOR.....	65

FIGURA 5.4: FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA PARA INTERCAMBIADORES DE TUBOS Y CARCASA.	70
FIGURA 5.5: SERPENTÍN CALEFACTOR.....	72
FIGURA 6.1: VARIACIÓN DEL VAN EN FUNCIÓN DEL PRECIO DE LOS BONOS DE CARBONO	83
FIGURA 6.2: VARIACIÓN DEL VAN EN FUNCIÓN DE LOS PRECIOS DE LA POTENCIA	84
FIGURA 6.3: VAN OBTENIDO EN FUNCIÓN DE LOS DISTINTOS MATERIALES.....	85
FIGURA 6.4: VARIACIÓN DEL VAN EN FUNCIÓN DE LA TASA DE DESCUENTO	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS SEGÚN EL ORIGEN DEL SUSTRATO UTILIZADO.	14
TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUSTRATOS COMUNES MÁS UTILIZADOS EN PROYECTOS DE BIOGÁS.	16
TABLA 2.3: CLASIFICACIÓN DE LOS BIODIGESTORES.	18
TABLA 3.1: VOLUMEN DEL BIODIGESTOR.	32
TABLA 3.2: PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS.	43
TABLA 4.1: TUBERÍAS HIDRÁULICAS DE LARGO ÚTIL 6 METROS.	44
TABLA 4.2: PÉRDIDAS SINGULARES SEGÚN ACCESORIO	45
TABLA 4.3: COEFICIENTES DE PÉRDIDA DE CARGA K PARA SINGULARIDADES	55
TABLA 5.1: PÉRDIDAS DE CALOR DEL BIODIGESTOR	64
TABLA 6.1: CÁLCULO DE COSTOS PLANTA A BIOGÁS	76
TABLA 6.2: INVERSIÓN ESTIMADA EN LA PLANTA DE BIOGÁS	77
TABLA 6.3: PRECIOS DE NUDO DE YUMBEL.	78
TABLA 6.4: ESCENARIO BASE DEL PROYECTO	78
TABLA 6.5: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	82

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Actualmente Chile enfrenta un desafío energético producto del alto crecimiento industrial y demográfico, por lo que es necesario contar con fuentes de energías limpias, económicas y seguras. Esto, junto al poco aprovechamiento de los residuos hacen que se busquen nuevas opciones de energía. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

Como respuesta a esta demanda surge el biogás, para el aprovechamiento óptimo de la energía contenida en los residuos y reducir el alto impacto ambiental que provoca botar estos residuos o enterrarlos. Para aprovechar esta energía contenida en el material orgánico es necesario contar con un digestor anaeróbico (Biodigestor), es en este donde ingresan los residuos de orujo, y en su interior ocurre el metabolismo anaeróbico producido por bacterias que degradan el material orgánico exhalando metano, con esto es posible transformar la biomasa en biocombustible y biofertilizante de los residuos.

Con el desarrollo de este tipo de energía se logran muchos beneficios tales como un aumento en la sostenibilidad de los sistemas productivos, se obtienen beneficios medioambientales, beneficios sociales y económicos, todo esto hace que el biogás sea una propuesta muy interesante al momento de invertir.

1.2 Hipótesis

Con la producción de biogás obtenida a partir del orujo resultante de la producción de vino generado con ocho millones de kilogramos de uva anual, se producirá energía para autoconsumo y calor para procesos, resolviendo así problemas energéticos y medioambientales de la vitivinícola.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una planta de biogás y evaluar si es factible técnica como económicamente generar biogás, con el que se puede generar electricidad para autoconsumo y energía térmica para procesos.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Calcular biomasa que se encuentra disponible.
- ❖ Determinar dimensiones del Biodigestor.
- ❖ Evaluar demanda energética de la empresa.
- ❖ Diseñar planta de biogás para el caso planteado.
- ❖ Aprovechar energía presente en los residuos y solucionar problemática de la vitivinícola.
- ❖ Realizar estudio económico, el cual determina si es rentable implementar dicha planta de biogás.

1.4 Planteamiento del problema

Dos Andes S.A. es una empresa vitivinícola con dos grandes valles, uno ubicado en Maipo y otro en Biobío, este último está ubicado a un costado de la carretera que une Concepción y Cabrero, cuenta con una producción anual de uva de 8 millones de kilogramos aproximadamente, de la cual se producen variedades de vinos. La problemática de esta empresa es ¿qué hacer con el orujo?, ya que en un principio fue usado como fertilizante, pero debido a la contaminación de suelos por sobrefertilización fue prohibido su uso con ese fin, por lo que ahora solo se entierra en lugares alejados de las viñas, provocando un alto impacto ambiental y un mal aprovechamiento de los recursos.

Por lo tanto, se realiza este estudio para dar solución a la problemática antes mencionada y con esto generar beneficios económicos a futuro.

1.5 Justificación del estudio

De la utilización del Biodigestor se obtienen muchas ventajas, las que se pueden resumir en:

- a) Beneficio de protección medioambiental
 - ❖ Evitar la emisión descontrolada de metano.
 - ❖ Evitar aumento de concentración de CO₂ en la atmosfera, producto del uso de combustibles fósiles al igual que los contaminantes regulados en Chile (MP, SO₂, NO_x, CO y COV).
 - ❖ Beneficios sanitarios. El uso de biodigestores para el tratamiento de residuos reduce significativamente virus y bacterias que pueden proliferar en su almacenamiento,

junto a esto se reducen las probabilidades de formación de plagas de insectos y ratones.

- ❖ Eliminación de malos olores producto de la degradación del material orgánico.
- ❖ Aplicación del producto digerido como fertilizante orgánico.

b) Beneficios económicos

- ❖ Se puede utilizar el biogás para generar electricidad para autoconsumo.
- ❖ Es posible utilizar el calor de los gases de combustión para ser utilizados en procesos.
- ❖ Es posible vender el fertilizante orgánico o bien ser utilizado para fertilizar la producción de uva.

c) Beneficios sociales

- ❖ Nuevos puestos de trabajo en el sector.
- ❖ La implementación de digestión anaeróbica transforma el sistema productivo en una producción limpia, lo que genera bienestar común en la zona implicada.
- ❖ El productor se beneficia proyectando una imagen amigable con el medioambiente por lo que generará un prestigio indiscutiblemente valorable.

d) Aumento de la sustentabilidad de los sistemas productivos

- ❖ Proyectos como este, el cual trae beneficios económicos, sociales y medioambientales, hace que la empresa aumente su grado de sustentabilidad, tema que está tomando cada vez más importancia dentro de la sociedad.

La información anterior fue principalmente adquirida de la fuente (MINENERGÍA/GIZ, 2012).

1.6 Antecedentes generales

1.6.1 Ubicación y antecedentes del lugar

La vitivinícola Dos Andes valle Biobío está ubicada en la carretera Q-50 que une Cabrero con Concepción, específicamente en el km 16. Cuenta con una producción anual de 8 millones de kg de uva, que procede de una alta variedad de cepas, las cuales son procesadas y producen las diferentes clases de vinos que en su mayoría son exportados.

La productora dispone de 264 estanques (todos de distintos volúmenes) en éstos se produce la fermentación de los vinos, y en este mismo lugar se cuenta con una prensa, esta es la encargada de extraer el jugo de la uva, luego de la primera fermentación (fermentación alcohólica), la cual se realiza con hollejo, semilla y levaduras, de aquí es donde se produce como residuo el orujo que es

utilizado en este proyecto, el cual al momento de ser extraído de la prensa es enterrado o esparcido en campos cercanos al viñedo y el vino pasa por un segundo proceso de fermentación llamado fermentación maloláctica.

Adyacente a estos galpones esta la sala de máquinas la cual cuenta con una caldera de agua caliente, la cual permite disponer de un sistema de intercambio de calor para mantener la temperatura adecuada para la fermentación del vino en los estanques (De 25°C a 30°C para la fermentación alcohólica y de 18°C a 22°C para la fermentación maloláctica).

La empresa cuenta con un laboratorio donde se realizan estudios para optimizar las condiciones y calidad de la producción del vino, este laboratorio utiliza calor la mayor parte del año, tanto para procesos como para calefacción, ambos provenientes de la caldera mencionada anteriormente.

Existe además otro galpón destinado a pipas en las cuales se almacenan los vinos luego de su periodo de fermentación. Aquí es donde se añejan los vinos de más alta calidad.

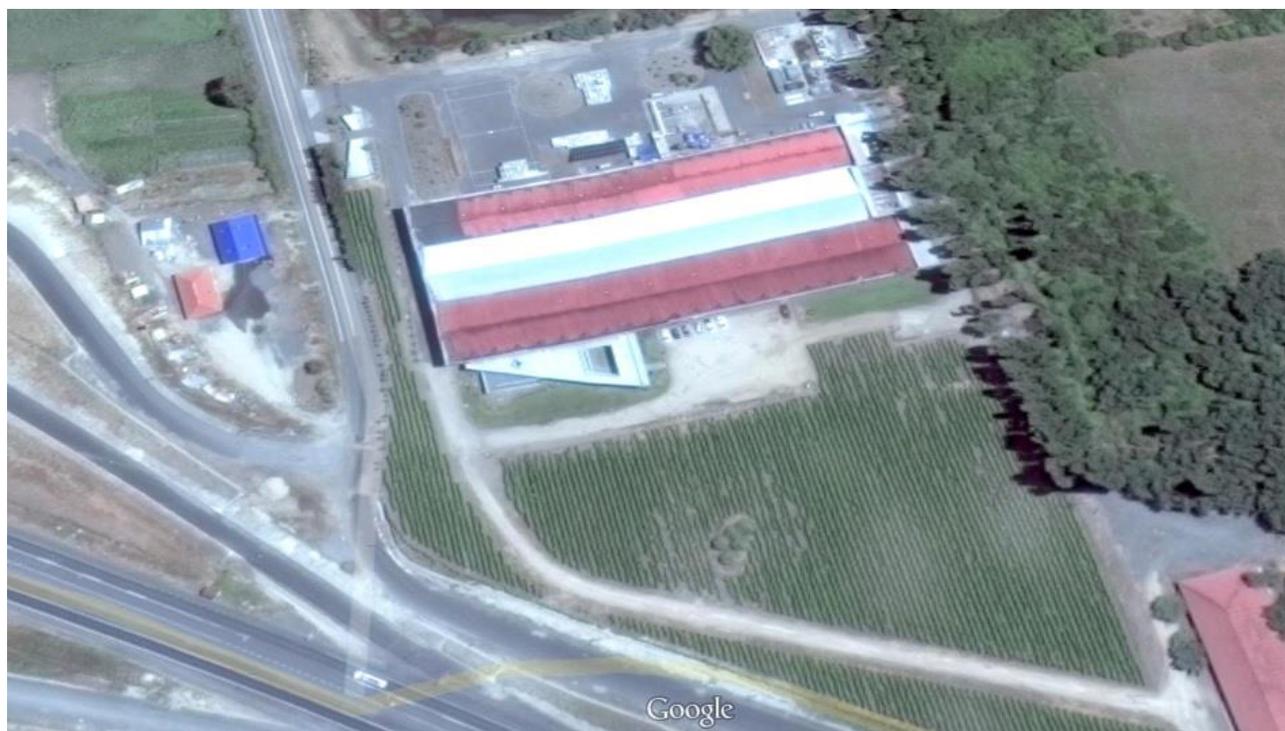


Figura 1.1: Ubicación bodegas valle Biobío. (Fuente: Google Maps)

1.6.2 Situación energética del sector

El sector cuenta con pocas fuentes de energía. Actualmente solo hay energía eléctrica y gas licuado, por lo que es muy importante potenciar el uso de energías renovables no convencionales (ERNC), ya que son energías limpias y seguras que pueden aumentar los beneficios de las empresas a largo plazo, lamentablemente su alta inversión hace que esta opción no sea la primera a considerar.

El precio de la energía eléctrica de la zona rural es de 161 \$/kWh, este es el mismo que se le cobra a la vitivinícola y con el que será calculado el consumo eléctrico anual de la vitivinícola.

1.6.3 Situación del biogás en Chile

En Chile, específicamente en el sistema interconectado central (SIC), solo el 0,38% de la energía que se consume proviene del biogás. Actualmente existe una potencia instalada de 42 MW y un aporte de energía anual de 286 GWh. (CIFES, 2015)

1.7 Antecedentes climáticos

Es importante considerar los factores climáticos del sector en el cual se implementará la planta de biogás, debido a que la mayor tasa de metano se obtiene a altas temperaturas (en comparación con las temperaturas ambientales de la zona), por lo general se trabaja a temperaturas entre 32-42 °C, por esto es muy importante verificar si la zona cumple con los requerimientos climáticos para que sea viable la implementación de dicha planta.

1.7.1 Descripción climatológica de la región del Biobío

En esta Región, se marca la transición entre los climas templados de Chile central, con veranos más cálidos y más secos, asociados a una actividad primordialmente agrícola y los climas más lluviosos al sur del río Laja, que definen actividades económicas más relacionadas con la ganadería y la silvicultura.

Las características climáticas mediterráneas templadas son las que predominan en esta Región, observándose algunas diferencias dentro de este género, producidas por las diferencias en los montos pluviométricos causados por la latitud y la cercanía al mar. Se distinguen así tres subclimas de acuerdo a la duración de la estación seca y la influencia oceánica. (ODEPA, 2009)

1.7.2 Clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses

Se encuentra en el sector norte de la Región y comprende desde la costa hasta una estrecha franja en la frontera con Argentina. Es el mismo clima de la VII Región, con las diferencias que corresponden al aumento en latitud. Las temperaturas medias son inferiores a 13°C, con 12°C de amplitud térmica anual y 13°C para la oscilación diaria. Estos valores son más bajos en la zona costera, al norte de Concepción, entre Curanipe y Tomé, en cambio se incrementan hacia la precordillera.

Las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm, pero en la alta cordillera la pluviosidad es mucho más alta y de carácter nival, llegando y superando los 3.000 mm. El total que cae en los meses más lluviosos, mayo a agosto, no alcanza el 70% del total anual. Solamente los meses de diciembre a marzo son secos, con totales mensuales inferiores a 40 mm. (ODEPA, 2009)

1.7.3 Clima templado cálido con una estación seca corta (menos de 4 meses)

Comprende la mayor parte de la Región, extendiéndose también desde la costa hasta la cordillera. La principal característica es una estación seca más corta, que alcanza 4 meses en Concepción, 3 meses en Coihueco y sólo un mes en Diguillín. Las precipitaciones son más abundantes que más al norte y varían desde unos 1.000 mm anuales al oriente de la Cordillera de la Costa hasta más de 3.000 mm en la cordillera, mayormente de carácter nival, pasando por 1.100 mm en Concepción, 1.140 mm en Talcahuano y 1.300 mm en Los Angeles y Mulchén. La precipitación de los meses de mayo a agosto, equivale a un 65% a 70% del total anual, lo que indica que el agua caída de la época de primavera y otoño es importante. En los meses de verano, diciembre a febrero, sólo llueve un 5% a 6% del total anual. El efecto que produce la Cordillera de la Costa, se nota aunque debilitado en esta Región, al observar los registros anuales de Concepción y Talcahuano, que superan los 1.100 mm y en cambio en Yumbel, detrás del cordón costero pero más al sur, ligeramente se superan los 1.000 mm.

Las temperaturas medias son ligeramente menores que en el clima del sector norte: Diguillín presenta 1°C menos que Chillán, diferencia que también se asume para la costa, partiendo de valores que son 1°C ó 2°C inferiores a los del interior.

La influencia de la cercanía del mar, se aprecia en las variaciones de la amplitud térmica anual, o diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el más frío: en Concepción es de 7.5°C y en Coihueco de 11.4°C. A su vez, la amplitud diaria es baja en Concepción, donde alcanza sólo 10°C, estimándose en unos 14°C en el interior y más aún en zonas precordilleranas. (ODEPA, 2009)

1.7.4 Clima templado lluvioso con influencia mediterránea

Este clima se encuentra en el sector costero sur de la Región, específicamente en la provincia de Arauco. Está muy determinado por la presencia de la parte más alta de la Cordillera de Nahuelbuta hacia el oriente, que le da características de mayor nubosidad y grandes diferencias térmicas y pluviométricas con la zona contigua a la ladera oriental de dicha cordillera, perteneciente a la IX Región.

Las precipitaciones continúan aumentando según la latitud, registrándose en Contulmo más de 140 mm más que en Concepción, ubicada 170 km más al norte. La amplitud térmica anual es baja, del orden de 8°C según los registros de Contulmo. Mientras que la amplitud térmica diaria se estima que es similar a la de Concepción, también del orden de unos 10°C. (ODEPA, 2009)

1.7.5 Implicancia para el proyecto

La temperatura media anual de Yumbel es de 13,7°C, siendo la media del mes más cálido Enero de 20,6°C y la media del mes más frío Julio de 8,2°C. Yumbel no presenta temperaturas frías tan extremas, sin embargo, son frecuentes las heladas en los meses de Agosto y Septiembre. (Municipalidad de Yumbel, 2015)

La media de temperatura señalada anteriormente está dentro de los requerimientos mínimos para la producción de metano mediante digestión anaeróbica (3 a 70°C), pese a esto las temperaturas máximas promedio de Yumbel no superan los 20,6°C y si bien está dentro del rango en el cual se produce la digestión anaeróbica es necesario considerar que: “los Biorreactores no calefaccionados operan satisfactoriamente solamente en lugares con temperaturas medias anuales de 20°C o bien donde se presentan temperaturas medias diarias superiores a 18°C, junto con esto cabe destacar que a temperaturas bajas, se disminuye drásticamente la tasa de generación de biogás, y, a la vez aumenta el tiempo necesario para la digestión y en consecuencia el tamaño del biorreactor, y finalmente los costos.” (ODEPA, 2009)

Por lo antes mencionado podemos deducir que el proyecto se encuentra por debajo de la temperatura mínima de operación para obtener un alto contenido de metano en el biogás, por lo cual es necesaria una correcta aislación y calefacción para obtener resultados rentables y aplicables a la empresa.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del biogás

A continuación se señalan los registros históricos del biogás más importantes, no obstante es necesario destacar que el uso de desechos y los “recursos renovables” para el suministro de energía no es un tema nuevo, pues ya eran conocidos y utilizados mucho antes del nacimiento de Cristo.

- ❖ 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano.
- ❖ 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato.
- ❖ En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C.
- ❖ 1906 Soehngen descubrió la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano.
- ❖ En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania. Este consistía en un estanque hermético, el cual era alimentado con material fermentable Para la obtención de biogás.
- ❖ Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron cerca de 40 biodigestores, pero su desarrollo se frenó por los bajos precios de los combustibles fósiles.
- ❖ 1970's se produjo una ola de construcción de biodigestores producto de la crisis del petróleo.
- ❖ 1991 en Alemania, los agricultores que producían electricidad recibieron un pago por kWh producido y entregado a las empresas de distribución, lo cual produjo una segunda ola de construcción de biodigestores que aún no termina.

Actualmente se está considerando un nuevo aumento del precio por el cierre paulatino de las plantas nucleares. Este proceso comienza el año 2002 con el cierre de dos reactores en Alemania y termina con el cierre total de los reactores para el año 2030 en toda Europa. (Kaiser, 2002)

2.2 Fundamentos y conceptos básicos de la digestión anaeróbica y del biogás

2.2.1 La Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de material biodegradable en ausencia de oxígeno para dar como resultado dos productos principales: biogás (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.) y el lodo estabilizado (N, P, K, Ca, etc.), conocido como digerido. Esta tecnología utiliza estanques (biodigestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de los animales. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

2.2.2 Fases de la digestión anaeróbica

El proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica involucra un amplio número de reacciones bioquímicas y de microorganismos, y se divide en tres fases:

- **Hidrólisis:** En esta etapa las bacterias rompen y transforman las cadenas de estructuras carbonadas en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.
- **Acidogénesis:** Etapa en la cual las bacterias acetogénicas realizan la degradación de los ácidos orgánicos (formados en la etapa anterior) llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.
- **Metanogénesis:** La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono.

La información antes mencionada de las tres fases proviene de la fuente bibliográfica (Hilbert, 2003).

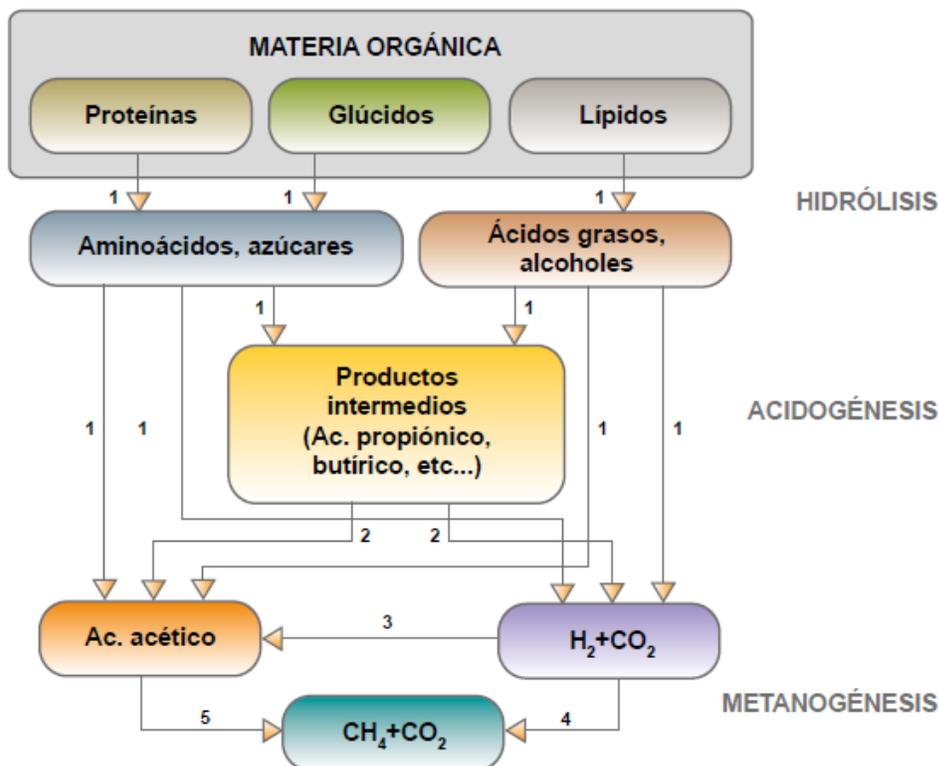


Figura 2.1: Fases del proceso de digestión anaeróbica.

- 1) *Bacterias hidrolíticas-acidogénicas;* 2) *bacterias acetogénicas;* 3) *bacterias homoacetogénicas;* 4) *bacterias metanogénicas hidrogenófilas;* 5) *bacterias metanogénicas acetoclásticas.* (IDAE, 2007)

Las principales variables que influyen en el proceso de biodigestión son las siguientes:

- ❖ **Temperatura:** A mayor temperatura, mayor es la velocidad de degradación y la producción final alcanzada de metano, sin embargo las plantas productoras de biogás trabajan en el rango mesofílico de temperaturas (32°C-42°C), esto debido a que a temperaturas muy elevadas el proceso es más inestable y costoso. Para este estudio se utiliza la temperatura de 35°C, la cual está dentro del rango de temperaturas antes mencionado.

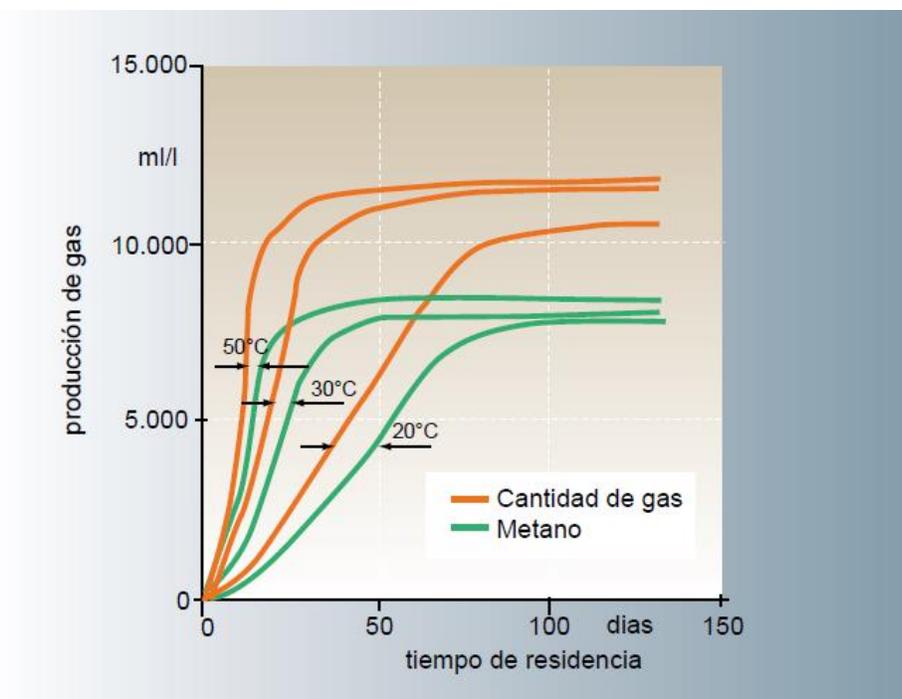


Figura 2.2: Temperaturas del proceso de digestión anaeróbica. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

- ❖ **PH:** El proceso de digestión anaeróbica debe realizarse en un rango de pH entre 6,8 y 7,5.
- ❖ **Tóxicos:** El oxígeno es un elemento toxico para la digestión anaeróbica ya que este inhibe el proceso de metanogénesis, pero no solo el oxígeno es causante de esto, sino que concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.
- ❖ **Nutrientes:** Para el crecimiento y la actividad de las bacterias Se debe procurar mantener la relación de los elementos C:N:P:S alrededor de 600:15:5:1 dentro del reactor, esto es necesario ya que sin las condiciones microbianas adecuadas se reduce la producción de biogás.
- ❖ **Agitación:** La actividad biológica depende directamente del contacto de microorganismos y la materia prima o sustrato, por lo que es necesaria la agitación de la mezcla, además esto ayuda a prevenir la formación de costras y natas superficiales.
- ❖ **Contenido de sólidos:** No existen reglas establecidas sobre este porcentaje, pero si se tiene conocimiento que un contenido muy elevado de solidos dificulta la movilidad de las bacterias metanogénicas, por lo que se trabaja en rangos entre 8% -12% de sólidos.
- ❖ **Tiempo de retención:** Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del sustrato en el reactor, sometido a la acción de los

microorganismos. En la Figura 2.3 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención. Notar que existe un tiempo mínimo por debajo del cual el reactor no presenta actividad, que la eliminación de materia orgánica sigue una tendencia asintótica, con una eliminación completa a tiempo infinito, para este proyecto se utiliza un tiempo de retención de 15 días, ya que es la máxima producción de volumen para la curva de 30 kg SV/m³ con una eliminación de SV entre 70 y 60%.

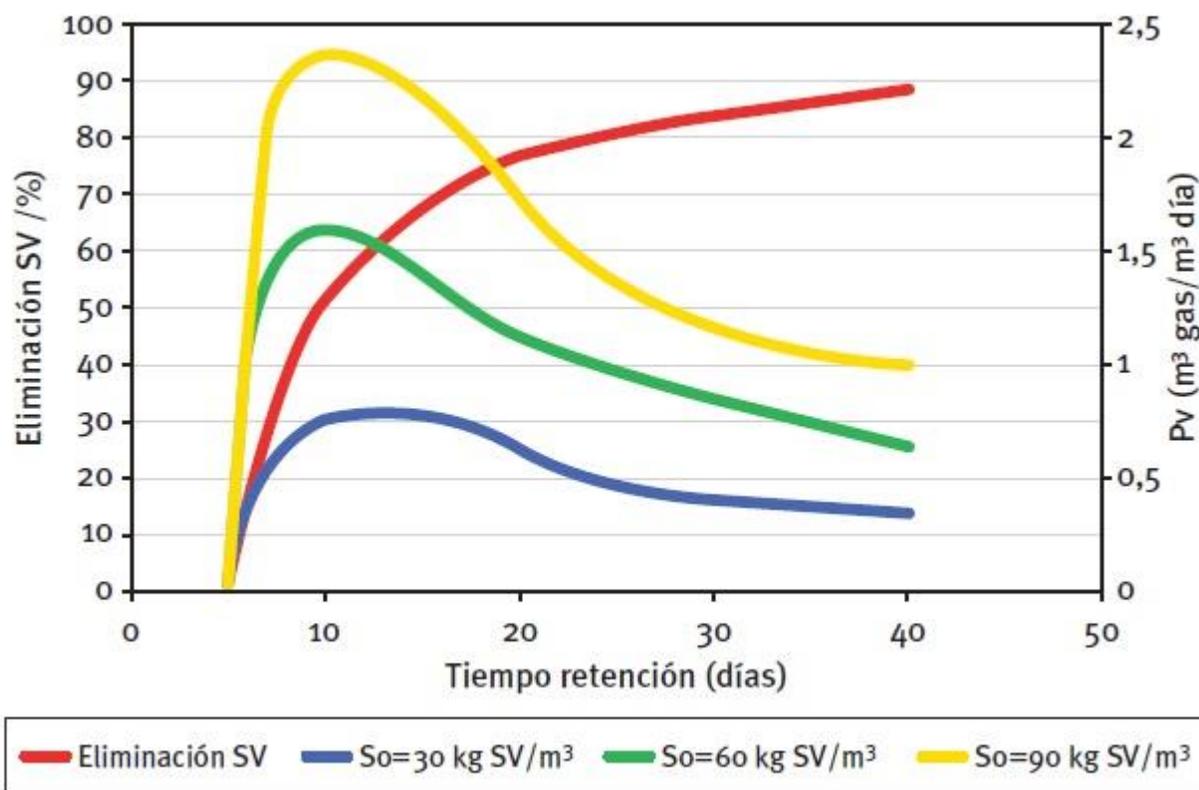


Figura 2.3: Eliminación de sólidos volátiles (SV) y producción volumétrica de gas (Pv) en un digester anaeróbico, en función del tiempo de retención. (IDAE, 2007)

La información de las variables que afectan la producción de biogás fue extraída principalmente de las fuentes (Hilbert, 2003), (MINENERGÍA/GIZ, 2012) e (IDAE, 2007).

2.2.3 Orujos de uva

El orujo de uva es un sub-producto que se obtiene del proceso de vinificación el cual está constituido en peso por un 45% de cascarilla, 30% de semilla y 25% de palillo. Se ha estimado que

el orujo constituye el 12% del peso de la uva fresca y presenta un contenido de humedad de 65%. (Canett Romero, y otros, 2004)

Este sub-producto es utilizado como fertilizante, o bien enterrado en los campos, lo que tiene un alto impacto ambiental, por lo que aprovechar la energía contenida en este residuo no solo trae beneficios económicos, sino que también posee beneficios medioambientales como: evitar la sobrefertilización de suelos, formación de plagas y malos olores en el sector.

2.2.4 Productos finales de la digestión anaeróbica.

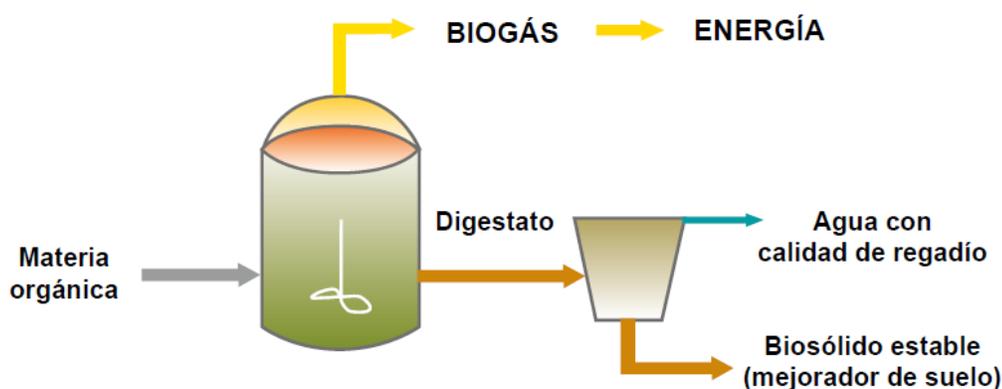


Figura 2.4: Esquema básico del proceso de digestión anaeróbica. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

Tal como se muestra en la figura 2.4, como producto de la digestión anaeróbica de la materia orgánica se obtiene biogás de alto poder energético, y una mezcla de agua y sólidos, lo que se conoce como lodo digerido o digestato resultante del crecimiento microbiano. Este digestato puede tener uso en la agricultura como fertilizante orgánico (biofertilizante) o en la recuperación de suelos degradados.

2.2.5 Definición del biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa combustible compuesta principalmente por metano y por dióxido de carbono. Dependiendo del sustrato a utilizar la fracción de metano varía entre 50% a un 80% en volumen.

En la tabla 2.1 pueden observarse los principales componentes del biogás y los respectivos rangos en los que varían sus diferentes concentraciones.

Tabla 2.1: Composición del biogás según el origen del sustrato utilizado. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

Componente	Residuos agrícolas y ganaderos	Lodos de EDAR	Residuos industriales	Vertederos de RSU
CH ₄	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%
CO ₂	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%
N ₂	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%
O ₂	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%
H ₂	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%
CO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	Trazas
H ₂ S	100 – 7.000 ppm	0 - 1%	0 - 8%	0.5 – 100 ppm
NH ₃	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Vapor de agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación
Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

Tal como vemos en la tabla 2.1, el biogás, además de metano contiene muchos compuestos más, los cuales son considerados impurezas, y para ser removidas requieren de una serie de tratamientos adicionales.

2.2.6 Características del biogás.

El biogás es un poco más liviano que el aire, posee una densidad aproximada de 1,133 kg/m³ y una temperatura de inflamación de 700°C. La temperatura de llama alcanza los 870°C. Su poder calorífico depende directamente del contenido de metano que varía entre 50% y 80% (18 y 27 MJ/m³ ó 0,017 y 0,026 MMBTU/m³), fracción que depende directamente del tiempo de retención hidráulico y del sustrato a utilizar. Si el contenido de metano es menor a 50%, este deja de ser inflamable.

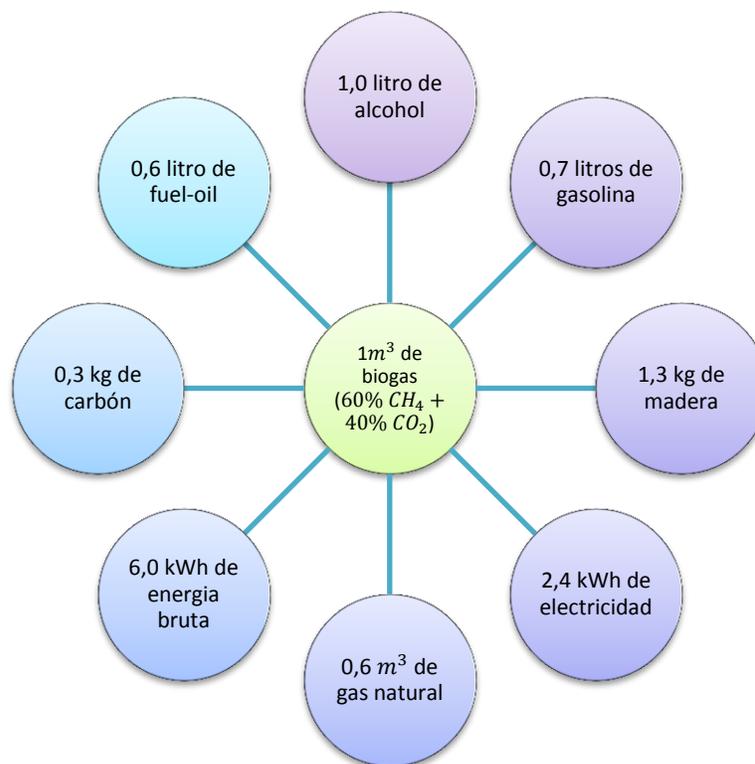


Figura 2.5: Equivalencia de biogás con otras fuentes de energía. (IDAE, 2007)

2.2.7 Características generales de algunos sustratos utilizados

La biomasa utilizada para la producción de biogás se conoce con el nombre de sustrato orgánico. Estos sustratos pueden ser de diversas naturalezas, generalmente se utiliza biomasa de costo cero o cuyo tratamiento y utilización puede significar incluso un ahorro de costos.

La composición del sustrato utilizado determina la cantidad y composición final de biogás producido.

Existe una gran cantidad de sustratos y sus características varían debido a diversos factores, por lo que no existen datos categóricos respecto a la productividad y la composición del biogás proveniente de dichos sustratos, por esto se utilizará la tabla 2.2 con rangos válidos para distintos tipos de biomásas.

Tabla 2.2: Características generales de los sustratos comunes más utilizados en proyectos de biogás.
(MINENERGÍA/GIZ, 2012)

Sustrato	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles (SV)	Rendimiento de biogás		Fracción de metano
	[%]	[% ST]	m ³ /t MF*	m ³ /t SV	[%]
Purines y estiércol					
Purines vacunos	8-11	75-82	20-30	200-500	60
Purines porcinos	~7	75-86	20-35	300-700	50-70
Estiércol vacuno	~ 25	68-76	40-50	210-300	60
Estiércol porcino	25	75-80	55-65	270-450	60
Guano de ave	~ 32	63-80	70-90	250-550	60
Cultivos agrícolas					
Silo Maíz (planta completa)	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55
Silo Pradera	25-40	70-95	170-200	550-620	54
Silo cereales (planta completa)	30-35	92-98	170-220	550-680	~55
Remolacha azucarera	23	90-95	170-180	800-860	53-54
Remolacha hojas	12	75-85	50-100	620-850	52
Paja de trigo	80-90	90-95	280-380	250-400	51
Papa	19-21	92-96	120-150	600-750	52
Residuos de agroindustria					
Orujo cervecero	20-25	70-80	105-130	580-750	~80
Orujos de frutas	20-25	app. 98	100-130	300-650	52
Pulpa de papa	~ 25	app. 95	app. 300	500-700	50
Melaza	80-90	85-90	290-340	360-490	70-75
Glicerina	~ 100	app. 99	750-850	800-900	50
Orujo de uvas	40-50	80-90	250-270	640-690	65

* Masa fresca

2.2.8 Usos del biogás

El biogás producido puede tener diferentes usos:

- ❖ En motores o turbinas para generar electricidad.
- ❖ En sistemas cogeneración para generar electricidad y calor de manera simultánea.
- ❖ En celdas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
- ❖ Purificándolo y añadiendo los aditivos necesarios para introducirlo en una red de gas natural.
- ❖ Como material base para la síntesis de productos de elevado valor agregado como el metanol.
- ❖ Como combustible para automóviles.
- ❖ En una caldera para generación de calor o electricidad.

2.2.9 Bioabono

El bioabono es un residuo inerte e inodoro, obtenido de la descomposición anaeróbica del sustrato, puede estar en forma líquida y sólida llamada efluente y lodo respectivamente.

La composición del bioabono varía de acuerdo con la materia prima utilizada, con el tiempo de fermentación y las condiciones ambientales, El bioabono es un producto orgánico rico en nutrientes capaz de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, posee la misma cantidad de macronutrientes y micronutrientes que el sustrato inicial, pero con cambios químicos que hacen que los compuestos (nitrógeno, fósforo y potasio) sean fácilmente asimilados por las plantas. Este material tampoco contamina ni atrae insectos, ya que durante el proceso de digestión anaeróbica se eliminan en forma drástica los microorganismos patógenos.

2.3 Tecnología empleada para el proceso de digestión anaeróbica

2.3.1 Biodigestor

Un Biodigestor es en su forma más simple, un contenedor cerrado (llamado reactor), hermético e impermeable, el cual está aislado térmicamente para mantener la temperatura óptima de funcionamiento. Dentro del reactor se deposita el material orgánico a fermentar (excremento de animales y humanos, desechos vegetales, etc) en una cantidad determinada de agua para mantener un porcentaje de sólidos totales en la mezcla, con esto y las condiciones tratadas en la sección anterior se logra de forma natural el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaeróbicas que son las encargadas de descomponer y tratar los residuos al interior de este biodigestor, luego de dicho proceso se obtienen como subproductos gas combustible (biogás) y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidrogenación y pos tratamiento (filtros, secado, entre otros) a la salida del reactor.

2.3.2 Características del Biodigestor

Para que un Biodigestor de residuos orgánicos opere de forma correcta, debe contar con las siguientes características:

- ❖ Hermético, para evitar fugas del biogás o entradas de aire que interfiera con la digestión anaeróbica.

- ❖ Térmicamente aislado, para evitar cambios bruscos de temperatura.
- ❖ El contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- ❖ Deberá tener acceso para mantenimiento.
- ❖ Deberá contar con un medio para romper las natas o costras que se forman (agitadores).
- ❖ Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.

2.3.3 Clasificación de los biodigestores

Existen diferentes diseños de biodigestores, los cuales se han desarrollado para satisfacer diferentes criterios. La tabla 2.3 agrupa los distintos tipos de biodigestores, desde los más sencillos hasta la última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo.

Tabla 2.3: Clasificación de los biodigestores. (Hilbert, 2003)

1.- CARGA	a) Sistema Batch
	b) Sistema continuo o semicontinuo
2.- INTENSIDAD DE MEZCLA	a) Mezcla completa
	b) Mezcla parcial o nula
3.- MANEJO DEL SUBSTRATO	a) Contacto anaeróbico
	b) U.A.S.B.: (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
	c) Lecho fluidizado
	d) Filtro anaeróbico
4.- MANEJO BIOQUIMICO	a) Una etapa
	b) dos etapas

1.-a) Sistema Batch o discontinuo:

Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Con o sin agitación. Requieren para acelerar su arranque de una proporción de inóculo del 20% del volumen total.

Este tipo de digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. (Hilbert, 2003)

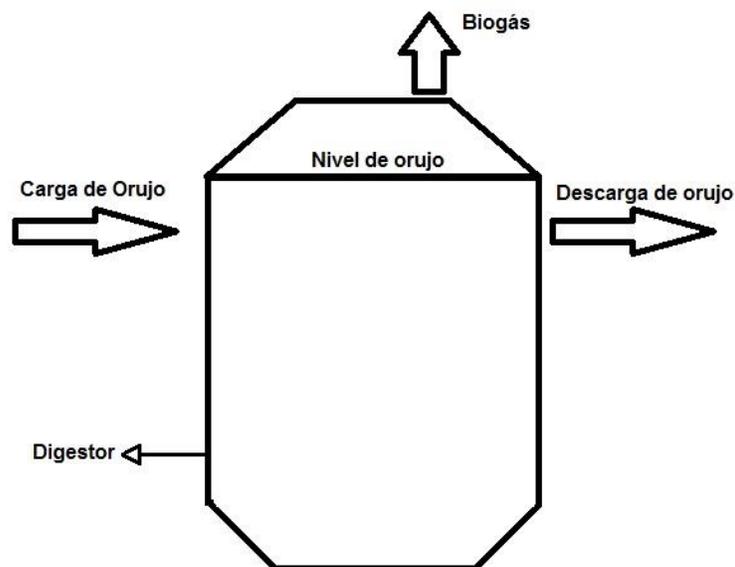


Figura 2.6: Esquema biodigestor tipo Batch. (Fuente: *Elaboración propia*)

1.-b) Sistema continuo o semicontinuo:

En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacúa por la salida. De este modo el volumen del sustrato en la cámara de digestión se mantiene constante. Los continuos se cargan generalmente en forma diaria, a diferencia de los semicontinuos se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados, parte de estos últimos es utilizada en el nuevo arranque. (Hilbert, 2003)

2.-a) Mezcla completa:

En estos digestores se busca que el sustrato en fermentación dentro de la cámara se mezcle en forma total, en general diariamente. En el caso de los reactores calefaccionados, esta acción asegura una distribución uniforme de la temperatura en todo el volumen. Existen diversos medios para lograr este fin, entre los que podemos mencionar: la agitación de líquidos mediante bombas internas o externas al digestor y la reinyección de biogás dentro de la cámara produciendo un intenso burbujeo. Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar el depósito de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica. (Hilbert, 2003)

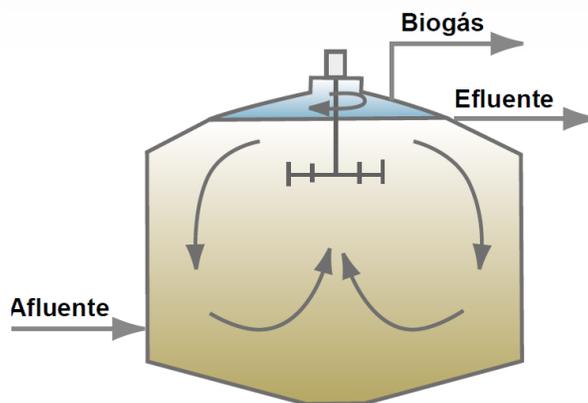


Figura 2.7: Biodigestor de mezcla completa. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

2.-b) Mezcla parcial:

En este grupo se encuentran los pequeños digestores rurales en los cuales los métodos de agitación son muy rudimentarios (agitadores del tipo manual o rotación de la campana gasométrica). Los que se realizan con el fin de evitar la formación de la perjudicial costra. (Hilbert, 2003)

3.-a) Contacto anaeróbico:

En este sistema existe un decantador a la salida con el fin de aprovechar la masa bacteriana y así acelerar el proceso de digestión anaeróbica. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida. (Hilbert, 2003)

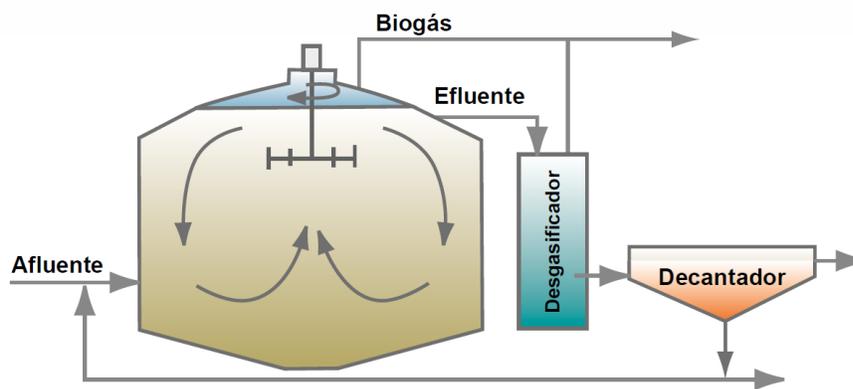


Figura 2.8: Biodigestor con contacto anaeróbico. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

3.-b) U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet):

En su interior posee separadores y mamparas estratégicamente ubicadas las que generan zonas de tranquilidad en las cuales las bacterias han conformado glomérulos (floculación) que sedimentan y así se evita que salgan con el efluente que es sacado por la parte superior de la cámara de carga.

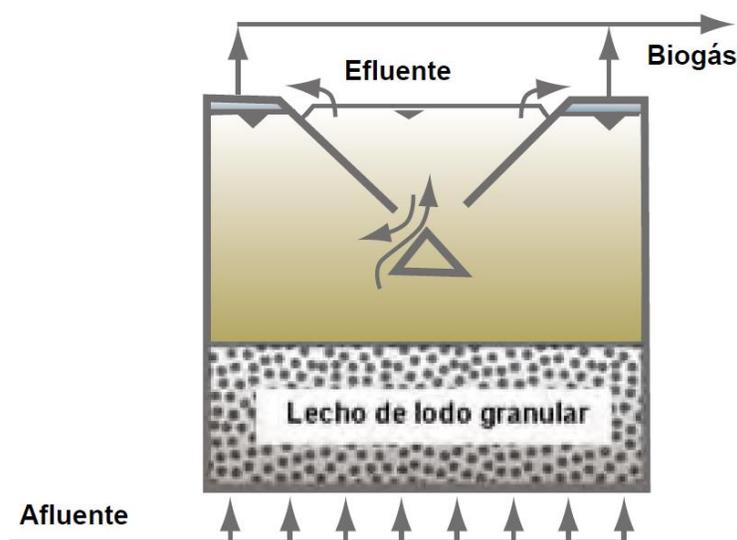


Figura 2.9: Biodigestor U.A.S.B. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

Este es uno de los diseños más usados y está siendo extensamente aplicado en el tratamiento de aguas residuales de la agroindustria. (Hilbert, 2003)

3.-c) Lecho Fluidizado:

En este tipo de biodigestor unas pequeñas partículas se mantienen en suspensión dentro de la cámara de digestión. Las bacterias se adhieren a estas partículas, que no son atacadas y salen con ellas. Mediante el filtrado del efluente se pueden recuperar estas partículas juntamente a las bacterias y se reintroducen en el biodigestor. (Hilbert, 2003)

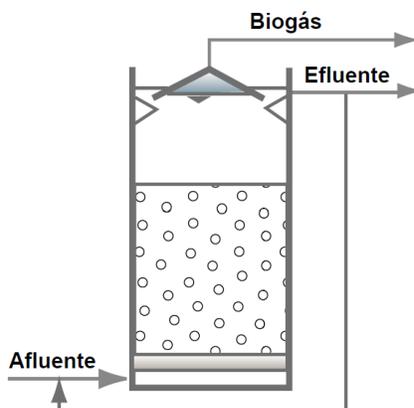


Figura 2.10: Biodigestor de lecho fluidizado. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

3.-d) Filtro anaeróbico:

Estos biodigestores tienen la particularidad de ser alargados (relación alto/diámetro mayor a uno), en su interior poseen un medio fijo que puede estar constituido por tuberías reticuladas, piedra caliza, formas plásticas de gran relación superficie/volumen, etc. Sobre estos materiales no atacables se adhieren las bacterias y así se evita su pérdida, que disminuye notablemente los tiempos de retención. Existen dos variantes: de flujo ascendente y de flujo descendente. (Hilbert, 2003)

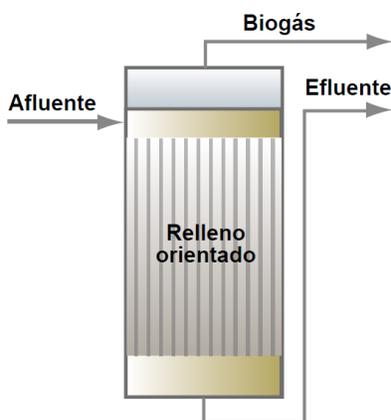


Figura 2.11: Biodigestor de filtro anaeróbico. (MINENERGÍA/GIZ, 2012)

4.-a) Una etapa:

Todos los tipos de digestores vistos hasta este momento se agrupan en esta categoría debido a que todas las etapas de la digestión anaeróbica se cumplen en una única cámara, en la cual todas las bacterias están sometidas a las mismas condiciones. (Hilbert, 2003)

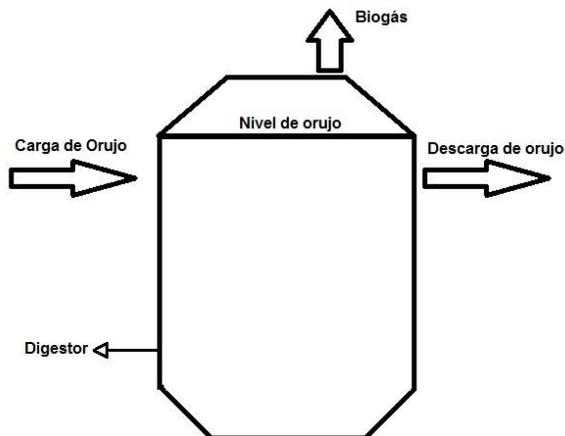


Figura 2.12: Biodigestor de una etapa. (Fuente: Elaboración propia.)

4.-b) Dos etapas:

En estos reactores el proceso se ha dividido en dos cámaras de digestión separadas, donde en la primera se desarrolla la etapa acidogénica y en la segunda la acética y la metanogénica. Esto permite optimizar las condiciones de desarrollo de cada tipo de bacterias y extraer los sólidos indigeribles antes que pasen a la etapa metanogénica. (Hilbert, 2003)

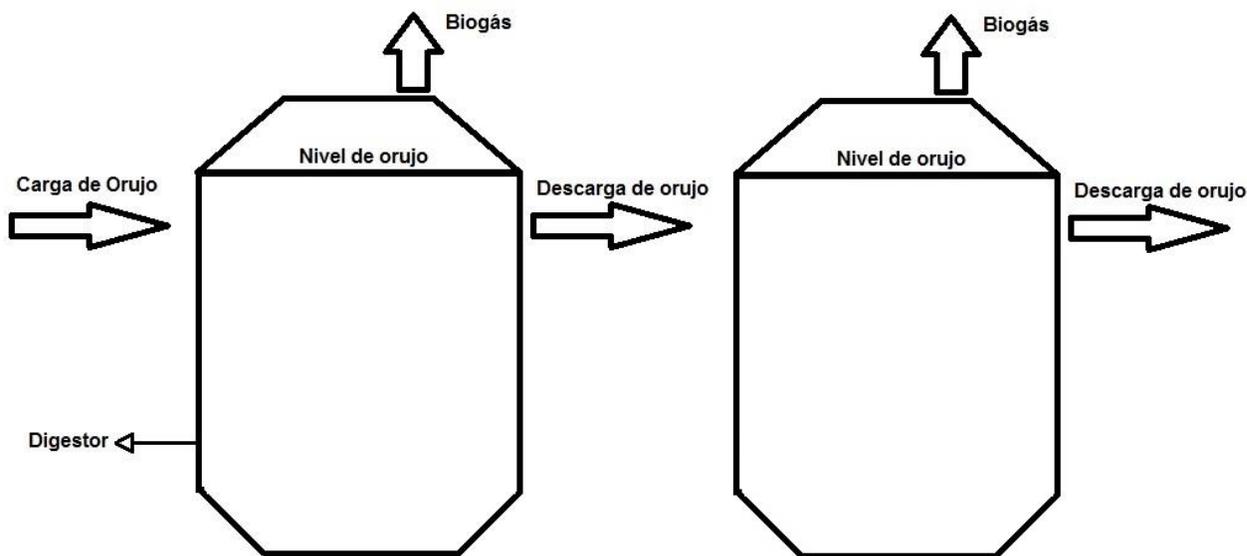


Figura 2.13: Biodigestor de dos etapas (Fuente: Elaboración propia)

2.3.4 Modelos de biodigestores

Existen varios tipos de biodigestores, pero los más difundidos son el de domo fijo (chino) y el de domo móvil (hindú). La limitante principal sobre que reactor utilizar es principalmente el costo, ya sea de sus componentes o de su instalación. A continuación se nombraran los tipos de biodigestores existentes y se definirán los más utilizados.

Los principales biodigestores existentes son:

- ❖ De carga por lotes o Batch
- ❖ Cúpula móvil o hindú
- ❖ Cúpula fija o Chino
- ❖ De estructura flexible
- ❖ Desplazamiento horizontal

2.3.4.1 Biodigestores de cúpula móvil o hindú

Este tipo de reactor también es conocido como domo flotante, posee una forma cilíndrica sobre la cual flota una campana gasométrica generalmente construida de hierro o de materiales resistentes a la corrosión como plásticos reforzados. Generalmente sus paredes y fondo se construyen de cemento, ferrocemento o ladrillo. El domo sube y baja dependiendo del volumen de biogás producido, por lo que necesita una varilla guía central o rieles laterales que impidan el roce con las paredes.

Un punto a favor es que no necesita de un contenedor externo (gasómetro) para almacenar el gas generado, y el gas se mantiene a una presión relativamente constante gracias al movimiento vertical del domo conforme la presión aumenta o disminuye, ello (estabilidad de presión entre 4 a 8 cm de agua) es muy ventajoso.

Este digestor funciona en forma continua realizándose por lo general una carga diaria o cada dos o tres días. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza. El gas gracias al gasómetro flotante se almacena a presión constante y volumen variable. Esta presión de salida puede ser incrementada con la adición de contrapesos.

Ventajas:

- ❖ Su funcionamiento es muy sencillo y no presenta serios inconvenientes en el área rural.
- ❖ No necesita estanque para almacenamiento del biogás generado.
- ❖ Trabaja a presiones constantes y es claramente visible la producción de biogás.
- ❖ Son impermeables a fugas siempre y cuando el mantenimiento sea adecuado.

Desventajas:

- ❖ La cúpula de acero es relativamente costosa.
- ❖ El mantenimiento requiere de mucho trabajo y dedicación.
- ❖ La vida útil de la cúpula es solo de 15 años y en sectores costeros es menor aun.
- ❖ El uso de sustratos fibrosos limita su uso, ya que la cúpula tiende a quedar atascada.

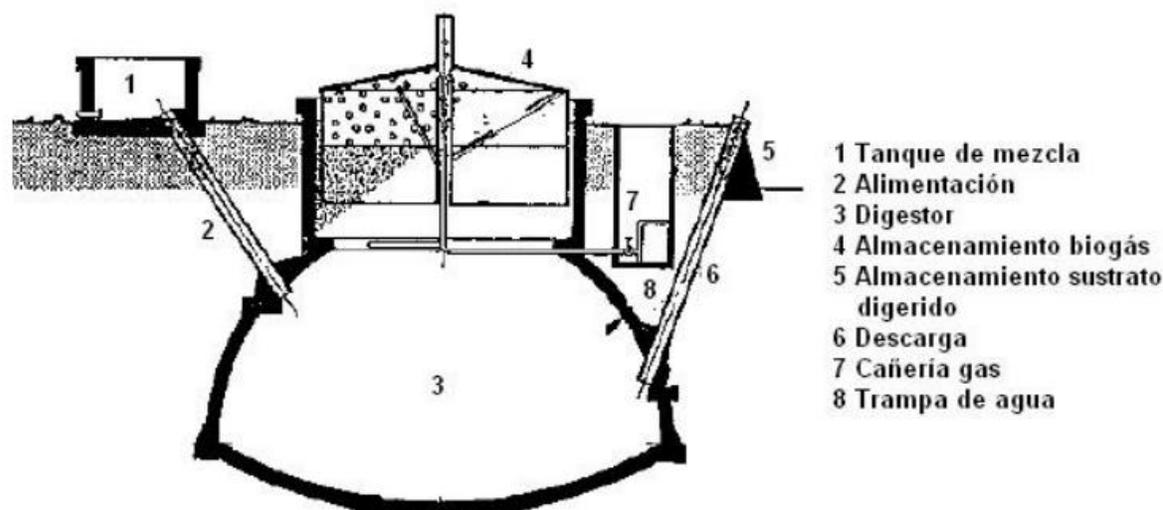


Figura 2.14: Biodigestor Hindú. (ODEPA, 2009)

2.3.4.2 Biodigestor de cúpula fija o chino.

Este consiste en una cámara cerrada generalmente de materiales como ladrillo, piedra u hormigón. Su forma se asemeja a la de una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada tanque de compensación. El domo se encuentra cubierto por un impermeabilizante para evitar fugas de gas.

El reactor se encuentra bajo tierra para contrarrestar las altas presiones que se producen en su interior, esto también lo hace resistente a climas fríos.

Tienen una larga vida útil (mayor a 15 años) con un adecuado mantenimiento. Sin embargo, el relativo alto costo que representa la construcción de este modelo hace que no se haya popularizado en países latinoamericanos tanto como otros diseños.

Estos digestores se cargan en forma semicontinua realizándose una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad luego se sigue cargando como un digestor continuo; a los 120 a 180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Fuera de China generalmente se maneja estos digestores en forma continua.

Estos reactores son factibles económicamente por sobre los 5 m³ de capacidad y se conocen de hasta 200 m³, siendo este tipo de planta los más difundidos en China, con alrededor de cinco millones de plantas pequeñas.

Ventajas:

- ❖ Sus materiales no poseen corrosión al no tener partes metálicas.
- ❖ Bajo costo de inversión y vida útil alta.
- ❖ Su diseño no requiere de mucho espacio.
- ❖ Posee aislamiento térmico.

Desventajas:

- ❖ Muy propenso a fugas de gas.
- ❖ Requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para la construcción correctamente impermeable del reactor.
- ❖ La producción de biogás no es fácilmente visible.
- ❖ La excavación puede ser costosa en suelos muy rocosos.
- ❖ La presión del biogás es variable y dificulta su utilización.

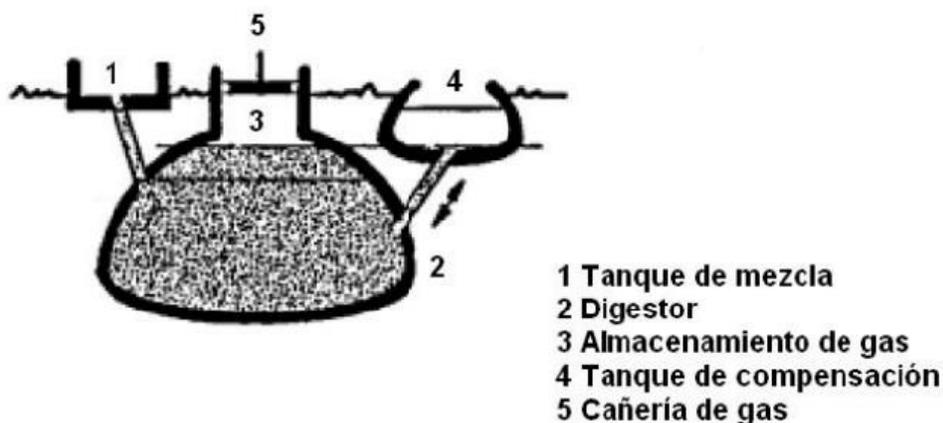


Figura 2.15: Biodigestor de tipo chino. (ODEPA, 2009)

2.3.4.3 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30% con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales.

Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales;

por ejemplo, una instalación de 4 m³ puede costar, aproximadamente, \$550 USD y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.

2.3.4.4 Biodigestor de estructura flexible

Este tipo de planta consiste en un contenedor de plástico aislante (estructura flexible), también llamado bolsa, el que combina digester y almacenamiento de biogás. El gas se almacena en la parte superior de la bolsa mientras que el sustrato a digerir se ubica en la parte inferior, de modo que la tubería de alimentación y salida están unidas directamente al plástico.

El plástico de la bolsa debe ser resistente al clima y a la radiación UV, por lo que se recomienda el uso de plástico reforzado o caucho sintético. Materiales como el denominado barro rojo PVC, Trevira y polietileno (más usado en América Latina) han sido aplicados con éxito. Sin embargo, la vida útil de estas estructuras, generalmente, no excede los dos a cinco años, por lo que este tipo de planta es recomendable solamente cuando existe la posibilidad de reparación localmente.

Esta tecnología es recomendable como una alternativa transitoria, cuando se requiere una solución rápida para la utilización de la materia prima y generación de biogás.

Ventajas

- ❖ Prefabricación estandarizada se obtiene a bajo costo.
- ❖ Uso sobre el nivel de tierra es factible en lugares con alto nivel de las aguas subterráneas.
- ❖ Se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas.
- ❖ Fácil de limpiar, mantener y su vaciado.

Desventajas

- ❖ Baja presión de gas por lo que se requieren bombas de gas.
- ❖ No se puede eliminar la escoria sólida en la superficie del sustrato a digerir durante la operación.
- ❖ Vida útil corta, es susceptible a daños físicos.

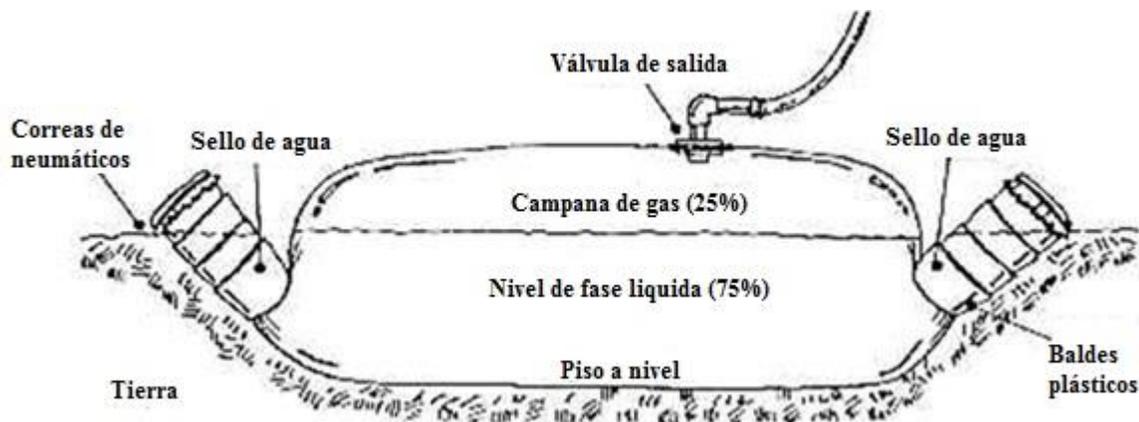


Figura 2.16: Biodigestor de estructura flexible.

2.3.4.5 Instalaciones industriales de biodigestión

Las instalaciones industriales de biogás emplean tanques de hormigón armado o acero inoxidable. Algunas almacenan el gas en el mismo tanque de fermentación y otras en tanques adicionales. Generalmente hacen uso de tres tanques, uno que sirve de acopio, uno para el proceso de digestión, y otro para el almacenamiento del material digerido, del cual también se capta el biogás que se sigue generando en menor cantidad.

Estas plantas suelen ser automatizadas, de modo que utilizan sistemas de bombeo para el desplazamiento del sustrato a digerir a cada tanque, sistemas de agitación y calefacción, y sistemas de instrumentación y control para los diversos parámetros de proceso.

El biogás obtenido se utiliza generalmente para la generación de energía térmica y eléctrica a través de sistemas de cogeneración (Combined Heat and Power Systems, CHP). Estos sistemas constituyen uno de los sistemas más eficientes, presentando eficiencias de recuperación de energía de alrededor de un 30% eléctrico y 60% térmico, es decir, se logra aprovechar alrededor del 90% de la energía alimentada al sistema.

Estas plantas requieren de grandes inversiones y presentan mantenciones intensivas, por lo que son económicamente factibles a gran escala. La factibilidad económica está dada principalmente por el ingreso que constituye la venta o el aprovechamiento de la energía térmica y eléctrica, y en menor grado, del mejorador de suelo que constituye el sustrato digerido. (ODEPA, 2009)

CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Demandas energéticas.

La viña Dos Andes S.A. valle Biobío consta con una infraestructura de:

- ❖ 264 estanques distribuidos en la bodega ubicada en la comuna de Yumbel.
- ❖ Sala de máquinas adyacente a la bodega, la cual cuenta con una caldera a gas licuado, y es responsable de mantener los estanques a la temperatura óptima. También existe una caldera a pellet la cual está sin uso.
- ❖ Viñedo distribuido en la comuna de Yumbel y comuna de Cabrero, la cual tiene una producción anual de 8 millones de kg de uva.

3.1.1 Consumo energético de la vitivinícola

La vitivinícola Dos Andes S.A tiene costos energéticos mensuales de \$3.755.000, lo cual equivale a 23.323 [kWh/mes], costos obtenidos utilizando precio actual de \$161 [\$/kWh], como se puede observar la vitivinícola cuenta con un costo energético demasiado alto, por lo que la implementación de biogás puede ser de gran ayuda para reducir los costos variables de la empresa y con esto aumentar su competitividad.

3.2 Caracterización y cuantificación del orujo

El orujo para producción de biogás mediante digestión anaeróbica no es muy utilizado a nivel mundial y a nivel país no hay registros de biodigestores con este tipo de sustrato.

La cantidad de orujo que contiene la uva va a depender de la región de cultivo y de las variedades de uva, para este estudio se utilizará la composición del orujo de un 45% de cascarilla, 30% de semilla y 25% de palillo. Se ha estimado que el orujo constituye el 12% del peso de la uva fresca y presenta un contenido de humedad de 65%. (Canett Romero, y otros, 2004)

Para el diseño de la planta de biogás, en este estudio se consideró una instalación industrial de biodigestión y un reactor del tipo Batch, debido al volumen de orujo obtenido, el cual es demostrado a continuación.

3.2.1 Volumen de orujo disponible

1) Cantidad de orujo

$$\text{Produccion anual de uva} = 8 * 10^6 \text{ [kg/año]}$$

Obs: Se ha estimado que el orujo constituye el 12% del peso de la uva fresca. (Canett Romero, y otros, 2004)

$$\text{Orujo anual} = 8 * 10^6 * 0,12 = 960.000 \text{ [kg/año]}$$

Temporada en la cual se obtiene orujo: de Febrero a Junio (150 días)

$$\text{Or} = \frac{960000 \text{ [kg/año]}}{150 \text{ dias}} = 6400 \text{ [kg/día]} = \text{MPC}$$

Donde:

Or: Orujo diario en kilogramos por día

MPC: Materia prima para carga en kilogramos por día.

2) Sólidos totales (ST)

$$ST = \frac{\%ST * MPC}{100} \quad (3.1)$$

Donde:

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

%ST: Porcentaje de sólidos en la carga o materia prima (40%, ver Tabla 2.2).

MPC: Materia prima para carga en kilogramos por día.

Reemplazando en (3.1) se tiene:

$$ST = \frac{40\% * 6400 \text{ [kg/día]}}{100}$$

$$ST = 2560 \text{ [kg/día]}$$

3) Masa de agua para la mezcla

$$M_{H_2O} = \frac{MPC * SO}{10} - MPC \quad (3.2)$$

Donde:

M_{H_2O} : Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

SO: Porcentaje de sólidos orgánicos (sólidos volátiles) contenidos en la materia prima para carga (32% correspondiente al 80% de los sólidos totales según tabla 2.2)

MPC: Materia prima para carga en kilogramos por día.

Reemplazando en (3.2) se tiene:

$$M_{H_2O} = \frac{6400 [kg/día] * 32}{10} - 6400 [kg/día]$$

$$M_{H_2O} = 14080 [lt/día]$$

4) Carga de orujo

$$C = MPC + M_{H_2O} \quad (3.3)$$

Donde:

C: carga para alimentar el biodigestor en kilogramos por día o litros por día (Sea asume que un litro pesa un kilogramo por el bajo contenido de sólidos).

MPC: Materia prima para carga en kilogramos por día.

M_{H_2O} : Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

Reemplazando en (3.3) se tiene:

$$C = 6400 [lt/día] + 14080 [lt/día]$$

$$C = 20480 [lt/día]$$

3.3 Tiempo de retención hidráulico

Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del sustrato en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos. (IDAE, 2007)

Para este estudio se usará un tiempo de retención hidráulico de 15 días por lo determinado de la Figura 2.3.

3.4 Cálculo del volumen del biodigestor

$$V_b = C * TRH * 1,2 \quad (3.4)$$

Donde:

V_b : Volumen del Biodigestor, en litros.

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

TRH: Tiempo de retención hidráulico en días (15 días para un sustrato con 30 kg SV/m³ de biodigestor).

1,2: 20% adicional de volumen correspondiente al inóculo para acelerar el proceso de digestión anaeróbica.

Reemplazando en (3.4) se tiene:

$$V_b = 24960 \left[\frac{lt}{dia} \right] * 15 [dias] * 1,2 = 368,64 m^3$$

3.4.1 Cálculo de las dimensiones del biodigestor

Las dimensiones del biodigestor deben ser suficientes para almacenar la cantidad de sustrato correspondiente al tiempo de retención hidráulica (15 días). Junto con esto deben albergar un 20% del volumen total correspondiente al inóculo proveniente del mismo biodigestor, con el fin de acelerar el proceso de digestión anaeróbica.

Tabla 3.1: Volumen del biodigestor. (Fuente: Elaboración propia)

Volumen carga de orujos ($m^3/dias$)	20,480
Tiempo de retención hidráulico (días)	15
Volumen orujo total (m^3)	307,2
Porcentaje de volumen inóculo (%)	20
Volumen total Biodigestor (m^3)	368,64

El biodigestor como se puede apreciar en la figura 3.1 es un estanque de forma cilíndrica vertical y en su interior se almacena el sustrato, en la parte superior cuenta con una semiesfera la cual alberga sustrato al igual que la parte cilíndrica, pero se diferencia de esta ya que debe poseer una parte libre para facilitar el movimiento de la mezcla en su interior.

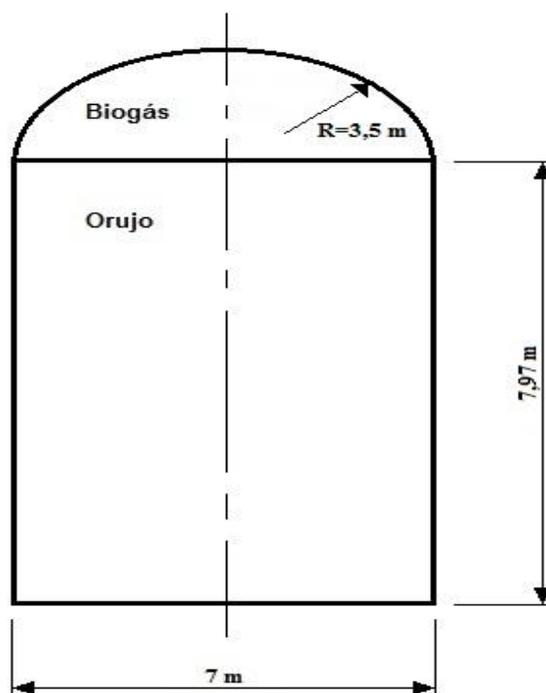


Figura 3.1: Esquema simplificado del biodigestor (Fuente: elaboración propia.)

A continuación se demuestra el procedimiento de cálculo para el biodigestor esquematizado en la Figura 3.1.

3.4.2 Volumen del biodigestor según cálculos de diseño

$$V_{Semiesfera} = \frac{2}{3} \pi * r^3 \quad (3.5)$$

$$V_{Cilindro} = \pi * r^2 * h \quad (3.6)$$

Reemplazando en (3.5) y (3.6) se tiene:

$$V_{Semiesfera} = \frac{2}{3} \pi * 3,5^3 = 89,797 [m^3]$$

$$V_{Cilindro} = 38,484 * h [m^3]$$

$$V_{biodigestor} = V_{Semiesfera} + V_{Cilindro} \quad (3.7)$$

Reemplazando en (3.7) se tiene:

$$V_{biodigestor} = 368,64 = 89,797 + 38,484 * h$$

$$h = 7,246 \text{ m}$$

La altura de los estanques debe considerar una altura libre entre el nivel de Sustrato y el borde superior del estanque de, a lo menos, un 5% respecto a la altura total del estanque. (Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile, 2012)

Para este caso específicamente se utiliza una altura adicional del 10% del volumen total.

Por lo tanto:

$$h = 7,246 * 1,1 = 7,97 \text{ m}$$

$$V_{biodigestor} = 89,797 + 38,484 * 7,97 = 396,524 \text{ [m}^3\text{]}$$

3.5 Dimensionamiento de la energía disponible

3.5.1 Posible producción de Biogás

$$Q_{biogás} = Or * SO * P \quad (3.8)$$

Donde:

$Q_{biogás}$ = Cantidad de Biogás producido en litros por día.

Or: Orujo diario en kilogramos.

SO = Porcentaje de materia orgánica del orujo. (Tabla 2.2)

P = Producción aproximada de m³ de gas/1 kg de masa orgánica (Tabla 2.2)

Reemplazando en (3.8) se tiene:

$$Q_{biogás} = 6400 * 0,32 * 0,64$$

$$Q_{biogás} = 1310,72 \left[m^3 \text{ biogás} / \text{día} \right]$$

3.5.2 Energía disponible

A partir del poder calorífico del metano (9,96 kWh/m³) se puede determinar la energía y potencia disponible en el biogás.

$$E_{Total} = Q_{biogás} * m * 9,96 \quad (3.9)$$

Donde:

E_{Total} = Energía disponible por día

$Q_{biogás}$ = Cantidad de Biogás producido en m³

m = Fracción de metano en el biogás en % (Tabla 2.2)

Reemplazando en (3.9) se tiene:

$$E_{Total} = 1310,72 * 0,65 * 9,96$$

$$E_{Total} = 8485,601 \text{ [kWh/día]}$$

Con la energía disponible se puede obtener la potencia disponible

$$P_{nom} = \frac{E_{Total}}{24[\frac{h}{día}]} \quad (3.10)$$

Donde:

P_{nom} = Potencia nominal disponible asumiendo generación constante de energía

E_{Total} = Energía disponible por día

Reemplazando en (3.10) se tiene:

$$P_{nom} = 8485,601 / 24$$

$$P_{nom} = 353,57 \text{ [kW]}$$

Utilizando una eficiencia eléctrica de 37,8% según fabricante (ver Anexo 2), se tiene:

$$P_e = P_{nom} * \eta_e \quad (3.11)$$

Donde:

P_e = Potencia eléctrica

η_e = Eficiencia eléctrica (en %)

Reemplazando en (3.11) se tiene:

$$P_e = 353,57 * 0,378$$

$$P_e = 133,65 [kW]$$

Para la potencia térmica se utiliza la eficiencia térmica del cogenerador a utilizar 46% (ver Anexo 2)

$$P_t = P_{nom} * \eta_t \quad (3.12)$$

Donde:

P_t = Potencia térmica

η_t = Eficiencia térmica (en %)

Reemplazando en (3.12) se tiene:

$$P_t = 353,57 * 0,46$$

$$P_t = 162,64 [kW]$$

Debido a la disponibilidad de orujo solo en los meses de febrero a junio el factor de planta a utilizar es de 42% (3600 horas/año)

$$E_e = P_e * 0,42 * 8.760 \quad (3.13)$$

Reemplazando en (3.13) se tiene:

$$E_e = 133,65 * 0,42 * 8.760$$

$$E_e = 487.816 [kWh/año]$$

$$E_t = P_t * 0,42 * 8.760 \quad (3.14)$$

Reemplazando en (3.14) se tiene:

$$E_t = 162,64 * 0,42 * 8.760$$

$$E_t = 593.639 [kWh/año]$$

Donde:

E_e = Energía eléctrica anual generada

E_t = Energía térmica anual generada

Siendo 8.760 el número total de horas por año y 0,42 el factor de planta que en este caso corresponde a la disponibilidad de sustrato.

3.5.3 Selección del sistema de cogeneración

Con las potencias nominales antes calculadas se procede a la selección del motor generador con sistemas de recuperación de calor, el equipo de cogeneración designado debe contar con una potencia térmica y eléctrica un poco superior a la antes calculada por posibles producciones más altas de potencia. Se utilizara el equipo “Datashet CHP OEKO 170 BG” con potencia eléctrica 170 [kW] y 207 [kW] de potencia térmica (Ver Anexo 2).

3.6 Selección del Biodigestor

Existe una gran diversidad de biodigestores, pero por las características y el volumen de orujo producido en la vitivinícola se optó por una instalación industrial con biodigestores de tipo Batch o discontinuo.

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de acero inoxidable.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

Ventajas de los biodigestores de instalación industrial:

1. Buena resistencia a las presiones. El acero inoxidable resiste altas presiones con pequeños espesores.
2. En comparación al modelo de biodigestor con campana móvil, este no posee partes móviles por lo que demanda menores gastos de mantención y es más eficiente frente a materia

vegetal y fibrosa.

3. En cuanto a la posición respecto a la superficie terrestre se construirá sobre una superficie de hormigón y la descarga del biodigestor estará bajo este nivel, lo que hace que la descarga sea espontánea.
4. El manto y cúpula con aislación de lana mineral reduce las pérdidas de energía térmica contenida en la mezcla.

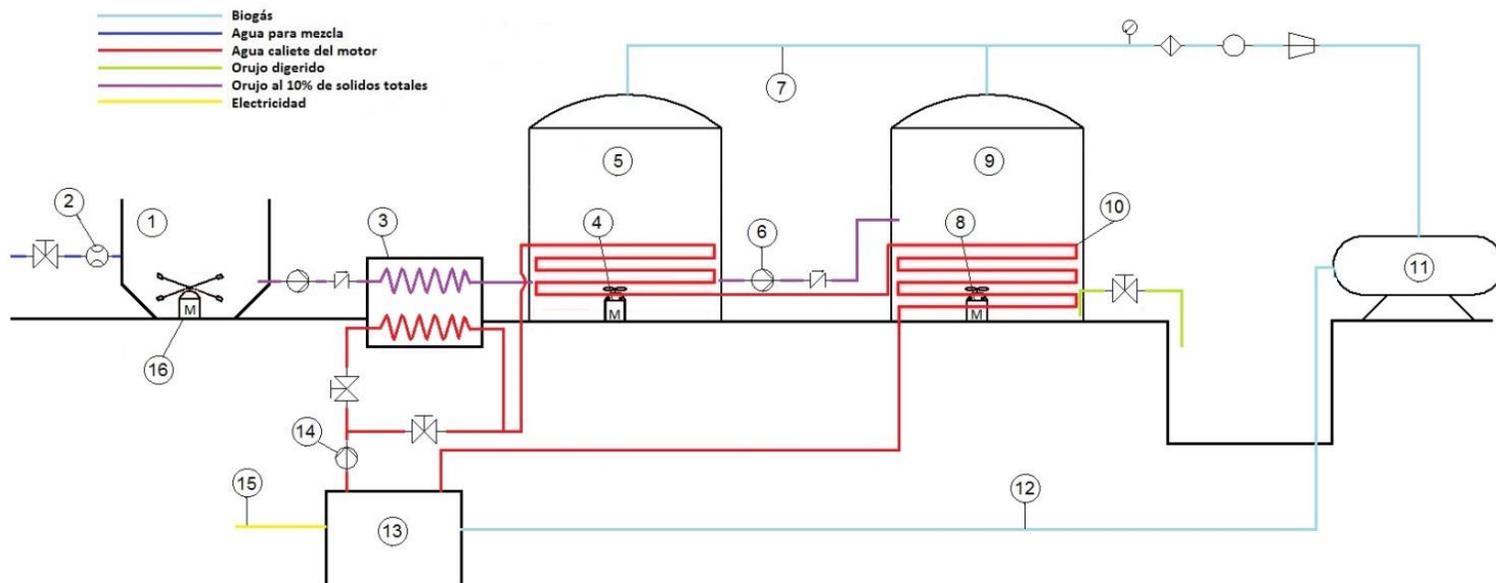


Figura 3.2: Esquema de planta de biogás (Fuente: Elaboración propia)

1. Tolva recolectora, con picador, 2. Caudalímetro, 3. Intercambiador de calor, 4. Agitador de hélice sumergible, 5. Estanque acondicionador de mezcla, 6. Bomba, 7. Tubería de biogás, 8. Agitador de hélice sumergible, 9. Biodigestor, 10. Sistema de calefacción de mezcla, 11. Acumulador de biogás, 12. Tubería de biogás de carga, 13. Motor cogenerador, 14. Bomba de agua caliente, 15. Conexión al SIC, 16. Agitador de hélice sumergible.

3.7 Clasificación y funcionamiento de la planta de biogás

La instalación industrial que obtiene biogás de la digestión anaeróbica del orujo producido como desecho en la planta vitivinícola, el biodigestor utilizado se puede clasificar como un reactor del tipo discontinuo con recirculación, esto debido a que se considera un 20% de sustrato ya digerido para así acelerar la digestión anaeróbica, además es considerado de mezcla completa por la agitación continua en su interior, permitiendo que el sustrato que ingresa, entre en contacto con la población bacteriana y con el sustrato en degradación.

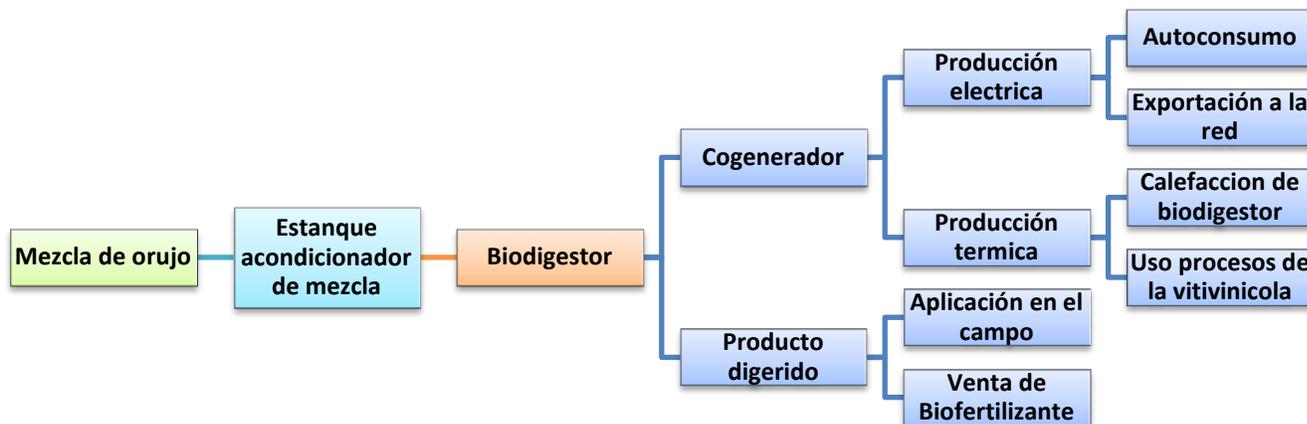


Figura 3.3: Esquema de funcionamiento de la instalación industrial (Fuente: Elaboración propia)

3.7.1 Tolva de recolección con picador y agitador de hélice sumergible

Para la recolección y procesamiento del orujo extraído, es necesario que la instalación industrial cuente con una tolva recolectora, la cual en su interior debe ir dotada de picadores para reducir el tamaño de los sólidos del desecho y agitador de hélice para homogenizar la mezcla antes de ingresar al intercambiador de calor.

Cabe destacar que para este tipo de desechos es necesario procesar lo antes posible, esto debido a que al almacenar los residuos vegetales por más de dos días expuestos al ambiente se produce una descomposición de los mismos, por lo que a medida que este residuo es producido se ingresa al proceso.

Para un control de los sólidos totales en la mezcla es necesario contar con caudalímetros en la red de ingreso de agua para llevar un control mediante PLC el cual permita cumplir con la concentración de sólidos (10%).

3.7.2 Estanque acondicionador de mezcla

Luego de picar el orujo y pasar por el intercambiador de tubos y coraza, la mezcla llega a un estanque acondicionador de mezcla, este está encargado de mantener las condiciones óptimas de la mezcla (pH, temperatura, agitación).

En el interior del estanque debe ir un agitador de hélice sumergible el cual mantenga la mezcla en constante movimiento, dicho movimiento es necesario para que no se formen depósitos en la superficie y para que el sustrato tenga contacto con el intercambiador de calor que estará instalado en las paredes del estanque, y así se mantenga la temperatura de trabajo.

Este estanque debe preparar la mezcla para que ingrese en condiciones óptimas al biodigestor, por lo tanto, debe contar con medidores de temperatura (temperatura de trabajo 35°C), manómetro y medidor de pH (entre 6,8 y 7,5).

3.7.3 Conducción del biogás

Para la conducción del biogás al almacenador se utilizará HDPE VINILIT debido a sus propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión, bajos costos, facilidad de instalación y flexibilidad, esto lo hace la mejor opción disponible. Para la línea que alimenta el cogenerador se utilizará este mismo material.

3.7.4 Tratamiento para la utilización del biogás

El biogás producido en el biodigestor debe ser tratado antes de ser combustionado, esto debido a que contiene vapor de agua y ácido sulfhídrico (H_2S) que resulta un problema para las piezas metálicas del motor cogenerador.

3.7.4.1 Elementos para tratar el biogás

a) Purgado del condensado:

El biogás que se produce en el biodigestor es un gas saturado en vapor de agua. El gas al ser transportado en las tuberías se enfría a temperatura ambiente y condensa el agua contenida en él, haciendo necesario el uso de un purgador de condensado.

Los purgadores de condensado se sitúan al inicio del circuito de gas, en la parte más baja, y consta de un recipiente en el cual se deposita el agua condensada, permitiendo el paso del gas. Otra

solución es dar una inclinación de al menos un 1% a las tuberías con pendiente inclinada hacia los purgadores de condensado.

b) Trampa de ácido

El ácido sulfhídrico contenido en el biogás, junto a la humedad de éste gas, puede generar un ácido corrosivo, el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores. Por lo tanto, la reducción del ácido sulfhídrico se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto. Sin embargo, el biogás contiene generalmente menos de 1% de este compuesto por lo que comúnmente la desulfuración no es necesaria.

Se han implementado diversas formas para lograr la remoción de este compuesto, siendo el más común en pequeñas y medianas plantas, el proceso de absorción vía masas ferrosas, en forma de óxidos, oxihidratos e hidróxidos de hierro. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usados nuevamente.

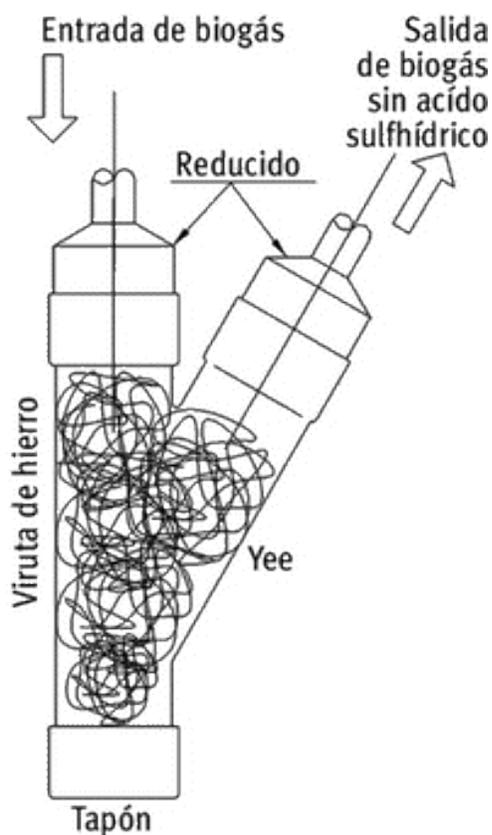


Figura 3.4: Trampa de ácido sulfhídrico.

3.7.5 Control de la planta de biogás

Para la planta de biogás será necesario una medida de control de un PLC, la cual cuenta con entradas de:

1. Sensor de niveles en estanque acondicionador de mezcla y biodigestor (esto será de ayuda en la carga y descarga de ambos)
2. Sensores de presión a la salida de ambos estanques
3. Sensor de temperatura en ambos estanques para el control de la temperatura mesofílica (35°C)
4. Medidor de pH en ambos estanques
5. Caudalímetro en la entrada de agua a la tolva recolectora para el control de la concentración de sólidos totales (10%)
6. Caudalímetro antes del compresor para llevar un control del biogás producido
7. Válvulas anti retorno y válvulas de control para cierre y apertura
8. Bombas
9. Compresor

3.7.6 Mantenimiento del biodigestor

El plan de mantenimiento de la planta será preventivo en la medida que no fallen los equipos.

Las frecuencias en el mantenimiento son realizadas según las recomendaciones del fabricante, pero en su mayoría los equipos serán inspeccionados una vez al año, ya que recordando lo mencionado en capítulos anteriores, la planta de biogás no operará todo el año, ya que la disponibilidad del orujo solo es dentro de los meses de febrero a junio, esto hace que se disponga de mucho tiempo para revisar el estado de los equipos, pese a esto se cuenta con un plan de mantenimiento y las tareas recomendadas son las siguientes:

Tabla 3.2: Plan de mantenimiento de la planta de biogás.

Equipo	Actividad	Frecuencia de mantención
Biodigestor	Vaciado del biodigestor	Una vez al año
	Limpieza interior	Una vez al año
	Pintura interior del biodigestor	Una vez al año
	Inspección y limpieza del serpentín calefactor	Una vez al año
	Inspección de soldaduras	Una vez al año
	Mediciones de espesor de planchas con ultrasonido	Una vez al año
Cogenerador	Inspección de nivel del lubricante	Semanalmente
	Reemplazo de lubricante y filtros	Una vez al año
	Inspección general de piezas	Una vez al año
Bombas centrifugas	Inspección completa de las partes estacionarias	Una vez al año
	Reemplazo de sellos y rodamientos	Una vez al año
	Inspección de partes expuestas a corrosión y partes móviles	Una vez al año
	Revisar succión y descarga	Semanalmente
	Verificar nivel de lubricantes	Semanalmente
	Control de consumo eléctrico	Una vez al año
Agitadores	Inspección visual	Una vez al año
	Limpieza general	Una vez al año
	Controlar consumo de corriente	Una vez al año
	Verificar nivel de lubricante	Una vez al año
	Verificar estado del aislante	Una vez al año
	Revisar estado de piezas principales	Una vez al año
	Reemplazo de sellos y rodamientos	Una vez al año
	Revisión de las juntas	Mensualmente
Ductos	Revisión del serpentín	Una vez al año
	Revisión de válvulas en general y cambio de ser necesario	Mensualmente
Válvulas	Revisión de válvulas en general y cambio de ser necesario	Mensualmente
Filtros	Reemplazo de filtros del cogenerador	Mensualmente
Purgador	Cambiar viruta ferrosa	Diariamente

La vitivinícola Dos Andes S.A. cuenta con personas encargadas del mantenimiento de la maquinaria y estanques de la empresa, por lo que para la operación de la planta de biogás no será necesario de personal adicional, solo se requiere capacitar a esta misma gente para que tengan conocimientos de la maquinaria que se utiliza.

Para la inspección de los estanques será necesario capacitar a las mismas personas en análisis no destructivos para una inspección más exhaustiva de los mismos.

CAPÍTULO 4: DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS.

4.1 Tubería a utilizar para transporte del orujo

Se utilizan tuberías de PVC debido a sus propiedades anticorrosivas y mecánicas, lo que lo hace apto para el transporte del sustrato.

Es necesario tener en cuenta que estas tuberías no pueden ser expuestas al sol por periodos superiores a los 3 meses, ya que sus propiedades mecánicas se ven afectadas, por lo que se recubrirá con pinturas vinílicas resistentes a los rayos UV.

4.2 Pérdidas en las tuberías de PVC

Se selecciona para el diseño de la planta de biogás tuberías de 2'' de diámetro nominal (Dn) y clase 10. De lo anterior se puede obtener:

$$D_{int} = D_n - 2 * e \quad (4.1)$$

Donde,

D_{int}: Diámetro interior de tubería

e: Espesor de pared

Tabla 4.1: Tuberías hidráulicas de largo útil 6 metros. (Vinilit, 2015)

EXTERIOR		CLASE 4		CLASE 6		CLASE 10		CLASE 16	
REAL	NOMINAL	ESPELOR	PESO	ESPELOR	PESO	ESPELOR	PESO	ESPELOR	PESO
mm	pulg.	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira
20	1/2					1.5	0.83		
25	3/4					1.5	1.05		
32	1					1.8	1.59		
40	1 1/4			1.8	2.02	2.0	2.21		
50	1 1/2			1.8	2.55	2.4	3.34		
63	2			1.9	3.43	3.0	6.22	4.7	7.86
75	2 1/2	1.8	3.93	2.2	4.78	3.0	7.47	5.6	11.14
90	3	1.0	4.74	2.7	8.53	4.3	10.73	0.7	10.00
110	4	2.2	7.12	3.2	10.07	5.3	16.03	8.2	23.85
125	4 1/2	2.5	9.10	3.7	13.10	6.0	20.54	9.3	30.69
140	5	2.8	11.33	4.1	16.39	6.7	25.75	10.4	38.58
160	6	3.2	14.87	4.7	21.33	7.7	33.75	11.9	50.32
200	8	4.0	22.94	5.9	33.29	9.6	52.76	14.9	79.26
250	10	5.0	35.31	7.3	51.94	12.0	85.50	16.6	123.24
315	12	6.2	56.38	9.2	82.50	15.2	130.68		
355	14	7.0	71.82	10.5	105.21	17.1	169.47		
400	16	8.0	91.35	11.7	132.83	19.2	212,30		

Clase: Indica la presión de trabajo (Kg. / cm²) a 20°C.

De la Tabla 4.1 se puede obtener:

$$D_n = 63 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

Reemplazando en (4.1) se tiene:

$$D_{int} = 63 - 2 * 3$$

$$D_{int} = 57 \text{ [mm]}$$

Del diámetro obtenido anteriormente, se infieren las longitudes equivalentes del Anexo 1.

Tabla 4.2: Perdidas singulares según accesorio (ver Anexo 1)

Perdidas en accesorios		
Codo radio largo	1,6	m
Válvula compuerta abierta	0,5	m
Válvula de retención tipo liviana	6,3	m
Salida de tubería	2,2	m
Entrada de borda	2,2	m
Entrada normal	1,1	m

b) Análisis de los tramos de transporte de orujo

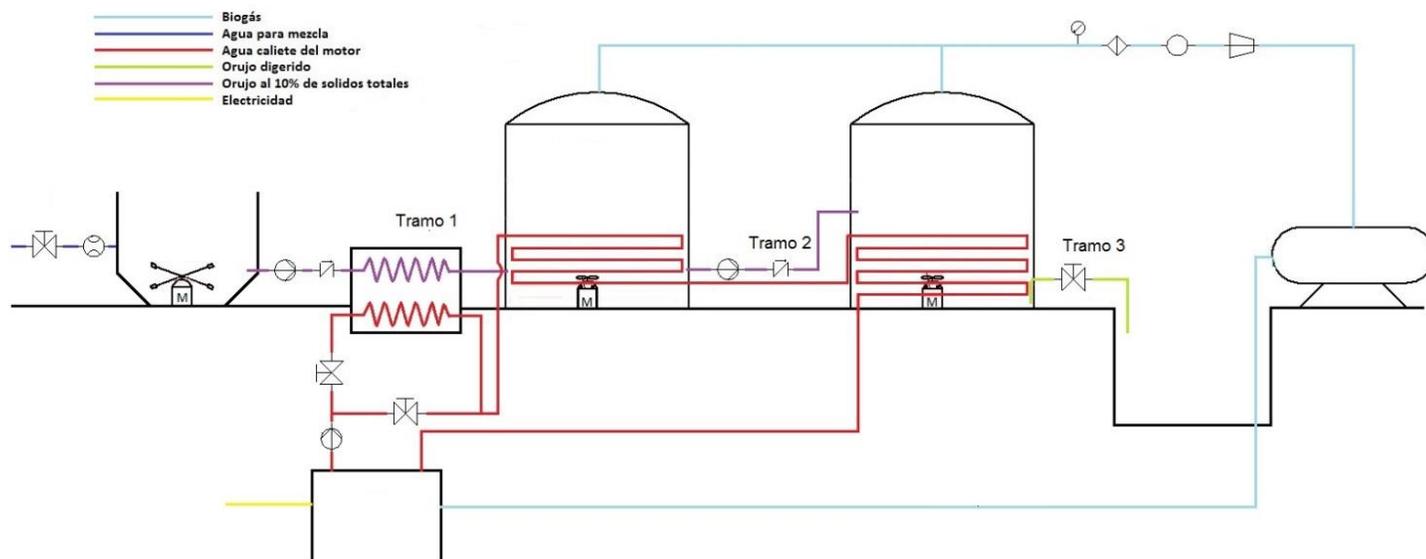


Figura 4.1: Designación de tramos para la línea de transporte del orujo

Para los siguientes cálculos se utilizó la numeración de los tramos de la línea de transporte del orujo esquematizada en la Figura 4.1

Tramo 1

Longitud: 3 m

Accesorios:

- 1 válvula de retención tipo liviana
- 1 salida de tubería
- 1 Entrada normal
- Para el intercambiador se consideran pérdidas de 2,1 m

$$LT1 = Longitud + Perdidas\ por\ accesorio * N^{\circ}\ de\ accesorios \quad (4.2)$$

Donde,

LT1: longitud total en el tramo 1

Reemplazando en (4.2) se tiene:

$$LT1 = 3 + 1 * 6,3 + 1 * 2,2 + 1 * 1,1 + 2,1$$

$$LT1 = 14,7 [m]$$

Tramo 2

Longitud: 7 m

Accesorios:

- 1 Entrada de borda
- 1 Válvula de retención tipo liviana
- 2 codos de radio largo
- 1 Salida de tubería

$$LT2 = Longitud + Perdidas\ por\ accesorio * N^{\circ}\ de\ accesorios \quad (4.3)$$

Donde,

LT2: longitud total en el tramo 2

Reemplazando en (4.3) se tiene:

$$LT2 = 7 + 1 * 2,2 + 1 * 6,3 + 2 * 1,6 + 1 * 2,2$$

$$LT2 = 20,90 [m]$$

Tramo 3

Longitud: 4 m

Accesorios:

- 1 Entrada de borda
- 1 Válvula de compuerta abierta
- 2 codos de radio largo
- 1 Salida de tubería

$$LT3 = Longitud + Perdidas por accesorio * N^{\circ} de accesorios \quad (4.4)$$

Donde,

LT3: longitud total en el tramo 3

Reemplazando en (4.4) se tiene:

$$LT3 = 4 + 1 * 2,2 + 1 * 0,5 + 2 * 1,6 + 1 * 2,2$$

$$LT3 = 12,10 [m]$$

c) Pérdidas por roce de tubería (J)

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

$$J = 10,665 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D_{int}^{4,869}} \quad (4.5)$$

Donde,

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

Q: Caudal por diseño [m³/s]

D_{int}: 0,057 [m].

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

Para el cálculo de velocidad de la mezcla se tiene:

$$Q = v * A \quad (4.6)$$

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (4.7)$$

Donde,

Q: caudal (m³/s)

v: velocidad del flujo (m/s)

A: sección o área de escurrimiento (m²)

Tramo 1

Reemplazando en (4.5), (4.6) y (4.7) se tiene:

$$Q_1 = 12/3600 = 0,00333 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$J_1 = 10,665 * \frac{0,00333^{1,852}}{150^{1,852} * 0,057^{4,869}} = 0,0294 \text{ [m. c. a/m]}$$

$$v_1 = \frac{4 * 0,00333}{\pi * 0,057^2} = 1,306 \text{ [m/s]}$$

Tramo 2

Reemplazando en (4.5), (4.6) y (4.7) se tiene:

$$Q_2 = 36/3600 = 0,01 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$J_2 = 10,665 * \frac{0,01^{1,852}}{150^{1,852} * 0,057^{4,869}} = 0,225 \text{ [m. c. a/m]}$$

$$v_2 = \frac{4 * 0,01}{\pi * 0,057^2} = 3,919 \text{ [m/s]}$$

Tramo 3

Reemplazando en (4.5), (4.6) y (4.7) se tiene:

$$Q_3 = 30/3600 = 0,0083 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$J_3 = 10,665 * \frac{0,0083^{1,852}}{150^{1,852} * 0,057^{4,869}} = 0,160 \text{ [m. c. a/m]}$$

$$v_3 = \frac{4 * 0,0083}{\pi * 0,057^2} = 3,266 \text{ [m/s]}$$

d) Pérdida de carga total para cada tramo (P_c)

$$P_c = \Delta Z + J * LT \quad (4.8)$$

Donde,

ΔZ : Diferencia de altura

LT: Longitud total

J: Pérdida de carga, (m.c.a/m)

Tramo 1

Reemplazando en (4.8) se tiene:

$$\Delta Z_1 = 0 [m]$$

$$P_{c_1} = 0 + 0,0294 * 14,7$$

$$P_{c_1} = 0,432 [m. c. a]$$

Tramo 2

Reemplazando en (4.8) se tiene:

$$\Delta Z_2 = 2,3 [m]$$

$$P_{c_2} = 2,3 + 0,225 * 20,9$$

$$P_{c_2} = 6,995 [m. c. a]$$

Tramo 3

Reemplazando en (4.8) se tiene:

$$\Delta Z_3 = -1 [m]$$

$$P_{c_3} = -1 + 0,160 * 12,1$$

$$P_{c_3} = 0,939 [m. c. a]$$

4.3 Energía requerida por las bombas

Balance de energía:

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} + \Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2g} + Pc \quad (4.9)$$

Donde,

H: Presión manométrica necesaria

ΔP : Diferencia de presión entre la entrada y la salida del tramo

ΔZ : Diferencia de altura entre la entrada y la salida del tramo

ΔV : Diferencia de velocidad entre la entrada y la salida, se considera "0" para líquidos incompresibles

Pc: Pérdida de carga

γ : Peso específico, se considera 9.800 N/m³ (mezcla con 10% de sólidos totales)

Presión en el biodigestor (PB)

$$h_{mezcla} = \frac{V_m}{\pi * r^2} \quad (4.10)$$

Donde,

h_{mezcla} : Altura de la mezcla en metros

V_m : volumen de mezcla

r: Radio interno del biodigestor

Reemplazando en (4.10) se tiene:

$$h_{mezcla} = \frac{737,28}{\pi * 4,5^2} = 11,589 [m]$$

$$Pb = \gamma * h_{mezcla} \quad (4.11)$$

Donde,

Pb: Presión hidrostática en el biodigestor

γ : Peso específico, se considera 9800 N/m³ (mezcla con 10% de sólidos totales)

h_{mezcla} : Altura de la mezcla en metros

Reemplazando en (4.11) se tiene:

$$Pb = 9800 * 11,589$$

$$Pb = 113575,231 [Pa] = 1,14 [bar]$$

Por diseño se utiliza una presión interna de 1,5 bar. Para agregar un factor de seguridad adicional.

Bomba para el tramo 1

$$\Delta P_1 = 1,5 [bar]$$

$$\Delta Z_1 = 0 [m. c. a]$$

$$Pc_1 = 0,432 [m. c. a]$$

Reemplazando en (4.9) se tiene:

$$H_1 = \frac{150000}{9800} + 0 + 0 + 0,432$$

$$H_1 = 15,737 [m. c. a] \text{ Energía que debe entregar la bomba 1}$$

Bomba para el tramo 2

$$\Delta P_2 = 0 [bar]$$

$$\Delta Z_2 = 2,3 [m. c. a]$$

$$Pc_2 = 6,995 [m. c. a]$$

Reemplazando en (4.9) se tiene:

$$H_2 = \frac{0}{9800} + 2,3 + 0 + 6,995$$

$$H_2 = 9,295 [m. c. a] \text{ Energía que debe entregar la bomba 2}$$

Bomba para el tramo 3

$$\Delta P_3 = -1,5 [bar]$$

$$\Delta Z_3 = -1 [m. c. a]$$

$$Pc_3 = 0,939 [m. c. a]$$

Reemplazando en (4.9) se tiene:

$$H_3 = \frac{0 - 1,5}{9800} - 1 + 0 - 0,939$$

$$H_3 = -15,367 [m. c. a]$$

No se requiere bomba para este tramo ya que el fluido baja por diferencia de presiones.

4.3.1 Elección de las bombas para transportar el orujo (ver Anexo 2)

- Para la bomba 1

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo Trifásica 230/400V 50Hz	kW	CV	Int. absorbida (A)		l/min m ³ /h	Q=Caudal												
			Trifásica			0	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	750	
			230V	400V		0	6	9	12	15	18	21	24	30	36	42	45	
H=Altura manométrica total (m)																		
DWC 300/1.1	1,1	1,5	4,3	2,5		21,0	19,2	18,1	16,6	15,0	13,1	11,0	8,5	-	-	-	-	
DWC 300/1.5	1,5	2	5,5	3,2		24,5	22,5	21,4	20,1	18,5	16,7	14,6	12,0	-	-	-	-	
DWC 500/1.5	1,5	2	5,9	3,4		18,5	-	-	17,0	16,4	15,7	14,9	14,0	12,0	9,8	7,4	6,2	
DWC 500/2.2	2,2	3	8,3	4,8		24,5	-	-	23,0	22,3	21,5	20,7	19,8	17,8	15,5	13,0	11,5	
DWC 500/3.0	3	4	9,7	5,6		26,3	-	-	25,0	24,4	23,7	22,9	22,0	20,0	17,6	15,0	13,6	

Figura 4.2: Características Bomba 1

- Para la bomba 2

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo Trifásica 230/400V 50Hz	kW	CV	Int. absorbida (A)		l/min m ³ /h	Q=Caudal												
			Trifásica			0	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	750	
			230V	400V		0	6	9	12	15	18	21	24	30	36	42	45	
H=Altura manométrica total (m)																		
DWC 300/1.1	1,1	1,5	4,3	2,5		21,0	19,2	18,1	16,6	15,0	13,1	11,0	8,5	-	-	-	-	
DWC 300/1.5	1,5	2	5,5	3,2		24,5	22,5	21,4	20,1	18,5	16,7	14,6	12,0	-	-	-	-	
DWC 500/1.5	1,5	2	5,9	3,4		18,5	-	-	17,0	16,4	15,7	14,9	14,0	12,0	9,8	7,4	6,2	
DWC 500/2.2	2,2	3	8,3	4,8		24,5	-	-	23,0	22,3	21,5	20,7	19,8	17,8	15,5	13,0	11,5	
DWC 500/3.0	3	4	9,7	5,6		26,3	-	-	25,0	24,4	23,7	22,9	22,0	20,0	17,6	15,0	13,6	

Figura 4.3: Características Bomba 2

4.4 Tubería a utilizar para transportar el agua en la línea de calefacción

Los aceros inoxidable son aleaciones metálicas con una base de hierro, o más exactamente, con una base de acero (aleación: hierro – carbono), que debe contener al menos un 10,5% de cromo (según la norma europea EN 10088-1) y al que muchas veces se añaden otros elementos como el níquel (o manganeso su sustituto) y, en menor medida, el molibdeno.

Para este caso se utiliza el acero AISI 316

Acero inoxidable austenítico aleado al Cromo-Níquel-Molibdeno. La adición de Molibdeno le confiere una alta resistencia a la corrosión por picado (pitting). No es templable ni magnético. Gran resistencia a la acción corrosiva de reactivos químicos (en especial al ácido sulfúrico) y a la atmósfera marina. Su aplicación es frecuente en la industria alimenticia, papelera y construcción.

El grado 316L, tiene un más bajo contenido de carbono, lo cual aumenta la temperatura de resistencia a la corrosión intergranular, además de mejorar su soldabilidad.

Es utilizado en refinerías, en la Industria alimenticia, minera, pesquera, química, farmacéutica y en la agroindustria. Algunos usos son silos de almacenamiento de pulpa y cemento, estanques para ácido sulfúrico y combustibles. Estanques para fermentación y sistemas de drenaje. Pasarelas, plataformas, escaleras, barriles, ciclones y sistemas de filtración de aire. Ductos y spools de grandes diámetros. Equipos hospitalarios.

Propiedades químicas:

- 0.3 % C max
- 2.00 % Mn
- 0,75 % Si
- 16.0 - 18.0 % Cr
- 10.0 - 14.0% Ni
- 2.00 – 3.00 % Mo
- 0.045 % P
- 0.03 % S

4.5 Pérdidas en las tuberías de acero inoxidable

a) Pérdidas singulares

Para el diseño de la línea de agua caliente para calefacción se utilizan tuberías de acero inoxidable AISI 316 de $2\frac{1}{2}$ "', la cual abastece el intercambiador de calor y el serpentín dentro de ambos estanques.

$$D_{int} = D_{ext} - 2 * e \quad (4.12)$$

Donde,

D_{ext} : Diámetro exterior de tubería

D_{int} : Diámetro Interior de tubería

e : Espesor de pared

Dimensiones de la tubería de acero inoxidable AISI 316 (ver Anexo 2)

$$D_{ext} = 73,02 [mm]$$

$$e = 3,05 [mm]$$

Reemplazando en (4.12) se tiene:

$$D_{int} = 73,02 - 2 * 3,05$$

$$D_{int} = 66,92 [mm] = 0,06692 [m]$$

El flujo de agua al interior de la tubería es de $m_{agua}=3,297 [kg/s]$ (flujo calculado en sección 5.2 b), por lo tanto el caudal de agua es $Q_{agua}=0,003297[m^3/s]$, con esto se puede calcular la velocidad del fluido de la siguiente forma:

$$v = \frac{4*Q}{\pi*D_{int}} \quad (4.13)$$

Reemplazando en (4.13) se tiene:

$$v = \frac{4 * 0,003297}{\pi * 0,06692^2}$$

$$v = 0,937 [m/s]$$

La ecuación de pérdidas singulares está dada por:

$$P_S = \frac{K*v}{2*g} \quad (4.14)$$

Donde:

P_S = Pérdidas singulares (m).

v = Velocidad de circulación del agua (m/s).

g = Aceleración de gravedad (9,8 m/s²).

K = Constante adimensional de coeficiente de resistencia que depende de los accesorios que se contemplan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Coeficientes de pérdida de carga K para singularidades

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Reemplazando en (4.14) se tiene:

Ps en codo de 90° de radio grande: 0,0287 [m]

Ps en válvula de compuerta abierta: 0,0096 [m]

Ps en T: 0,0861 [m]

b) Análisis del circuito de calefacción

$$LT = Long. \text{ circuito} + \sum Ps * N^{\circ} \text{ accesorios} \quad (4.15)$$

Longitud del circuito = 80 m

El intercambiador tiene 3 m.c.a de pérdidas

Accesorios:

- 7 codos
- 2 válvula de compuerta

- 2 Tee
- 1 intercambiador

Reemplazando en (4.15) se tiene:

$$LT = 80 + 7 * 0,0287 + 2 * 0,0096 + 2 * 0,0861 + 1 * 3$$

$$LT = 83,392 [m]$$

c) Pérdidas por roce de tubería (J)

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

$$J = 10,665 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D_{int}^{4,869}} \quad (4.16)$$

Donde,

J: Pérdida de carga [m.c.a/m]

Q: Caudal = 0,003297 [m³/s]

D_{int} = 0,06692 [m]

C: Coeficiente de rugosidad, C=140 (Acero inoxidable)

Reemplazando en (4.16) se tiene:

$$J = 10,665 * \frac{0,003297^{1,852}}{140^{1,852} * 0,06692^{4,869}}$$

$$J = 1,5 * 10^{-2} [m.c.a/m]$$

d) Pérdida de carga total para el circuito (Pc)

$$Pc = \Delta Z + J * LT \quad (4.17)$$

Donde,

ΔZ: Diferencia de altura (1 m)

LT: Longitud total (83,392 m)

J: Pérdida de carga (0,015 [m.c.a/m])

Reemplazando en (4.17) se tiene:

$$Pc = 1 + 0,015 * 83,392$$

$$Pc = 2,248 [m]$$

4.6 Energía requerida para la bomba del circuito de calefacción

Ecuación de Bernoulli:

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} + \Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2g} + Pc \quad (4.18)$$

Donde,

H: Presión manométrica necesaria

ΔP : Diferencia de presión entre la entrada y la salida del tramo

ΔZ : Diferencia de altura entre la entrada y la salida del tramo

ΔV : Diferencia de velocidad entre la entrada y la salida, se considera "0" para líquidos incompresibles

Pc: Pérdida de carga

γ : Peso específico del agua = 9.800 N/m³

Bomba para el circuito

ΔP : 1 bar = 101 kPa, por diseño

ΔZ : 1 [m.c.a]

Pc: 2,248[m.c.a]

$$H = \frac{101000}{9800} + 1 + \frac{0^2}{2 * 9800} + 2,248$$

$$H = 13,554[m.c.a]$$

4.6.1 Elección de la bomba para el circuito de calefacción (ver Anexo 2)

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo		kW	CV	Condensador		Intensidad absorbida (A)			l/min m³/h	Q=Caudal							
Monofásica 230V 50Hz	Trifásica 230/400V 50Hz			μF	V _c	Monofásica	Trifásica 230V 400V			100	200	300	400	550	750	950	1100
										H=Altura manométrica total (m)							
DWO 150 M	DWO 150	1,1	1,5	31,5	450	6,8	4,4	2,5	9,5	8,9	7,9	6,9	5,1	-	-	-	
DWO 200 M	DWO 200	1,5	2	40	450	9,0	6,1	3,5	12,7	12,3	11,5	10,5	8,6	5,8	-	-	
-	DWO 300	2,2	3	-	-	-	8,3	4,8	15	14,5	13,8	12,9	11,7	9,7	7,5	-	
-	DWO 400	3	4	-	-	-	11,0	6,4	17,5	16,9	16,3	15,6	14,3	12,4	9,8	7,6	

Figura 4.4: Características de la bomba del circuito de calefacción

CAPÍTULO 5: BALANCE ENERGÉTICO DEL BIODIGESTOR E INTERCAMBIADOR

5.1 Balance energético del biodigestor

Para el diseño del biodigestor se utiliza un espesor de planchas de acero inoxidable (AISI 316) de 8 [mm] y se procede a determinar las presiones máximas de trabajo mediante la fórmula de espesores de recipientes con pared delgada.

$$D_m = D_{int} + \frac{1}{2} * e \quad (5.1)$$

$$P = \frac{\sigma * 2 * e}{D_m} \quad (5.2)$$

Donde,

D_m : Diámetro medio del manto

D_{int} : Diámetro interior del manto (7.000 [mm])

e : Espesor de manto (8 [mm])

σ : Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable AISI 316 (170 [MPa])

Reemplazando en (5.1) y (5.2) se tiene:

$$D_m = 7000 + \frac{1}{2} * 8 = 7.004 [mm]$$

$$P = \frac{170 * 2 * 8}{7004} = 0,3883 [MPa] = 3,883 [bar]$$

Como se puede notar en los cálculos anteriores, la presión que resiste el manto de 8 [mm] de espesor, es mucho más alta que la presión de trabajo (1,5 [bar]), esto entrega un factor de seguridad al diseño, pese a los cálculos anteriores se sometió el diseño a un análisis mediante Autodesk Simulation 2015 para comprobar puntos críticos y posibles fallas del diseño.

El diseño fue sometido a cargas hidrostáticas producidas por la mezcla con la que se carga el biodigestor, también se consideran fallas por pandeo, al incluir la gravedad y datos específicos del material (AISI 316). Cabe destacar que se aplicaron nervios cada 90° en el manto hasta una altura de 4 [m], esto para evitar el pandeo por el propio peso de la estructura.

Como resultado se obtuvo un factor de seguridad de 3,85, el cual es más que suficiente para asegurar que no falle. El diseño será utilizado para ambos estanques (Biodigestor y Estanque acondicionador de mezcla).

Resultados de la simulación:

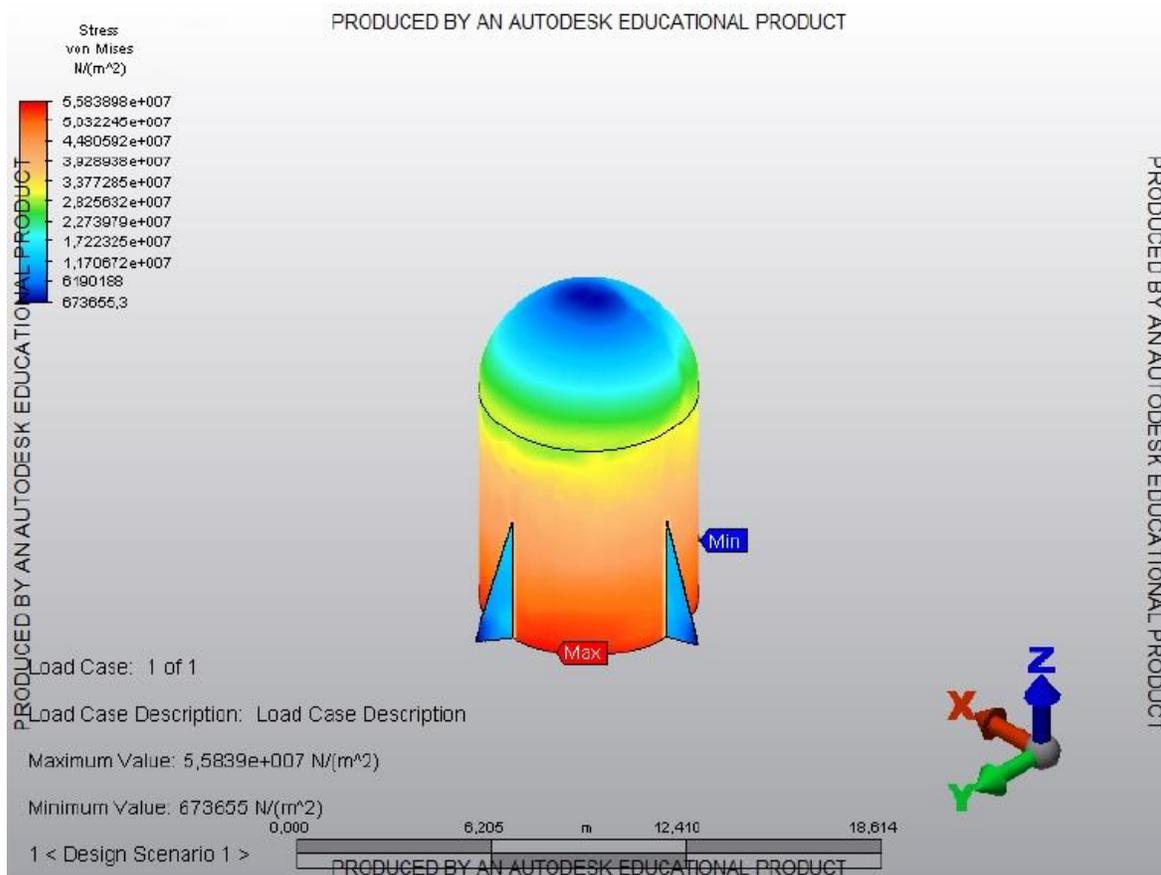


Figura 5.1: Resultados análisis de tensión de Von Mises

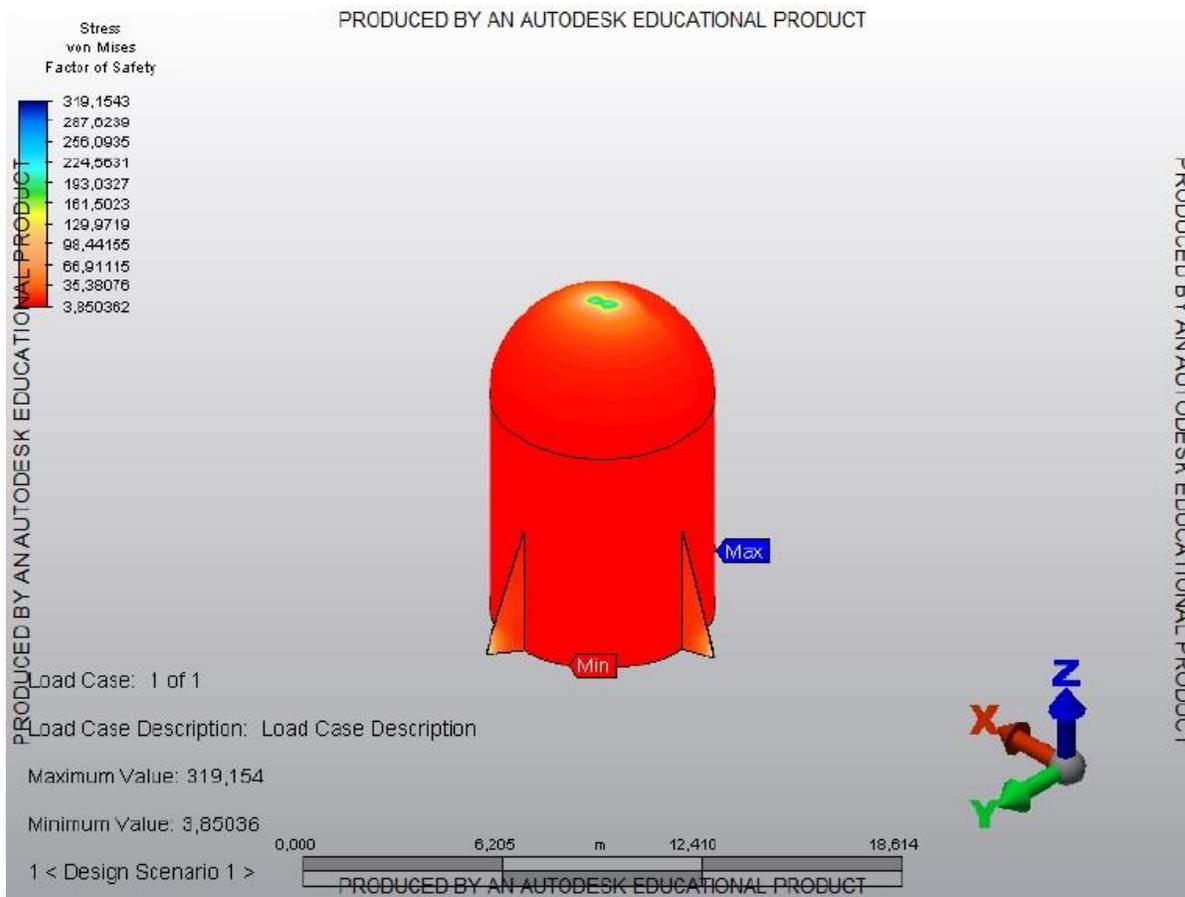


Figura 5.2: Factor de seguridad referido al análisis de tensión de Von Mises

Datos a utilizar para obtener los cálculos:

- Dimensiones del biodigestor: Cilindro de diámetro 7 metros y alto 7,97 metros
- Construido con acero inoxidable de espesor 8 mm
- Temperatura de suelo 5°C
- Temperatura al interior del biodigestor 35°C
- Temperatura exterior de Yumbel 3°C (según NCh1078.c73)

5.1.1 Pérdidas de calor del biodigestor

a) Pérdidas por el piso:

$$Q_{piso} = U * A * (T_2 - T_1) \quad (5.3)$$

Donde,

U: Coeficiente global de transferencia de calor.

A: Area de transferencia de calor.

T₁: Temperatura exterior

T₂: Temperatura interior

Calculo de H:

$$R_{Piso} = R_{Hormigon} + R_{Grava} + R_{Arena} + R_{Acero} \quad (5.4)$$

$$R_{Hormigon} = \frac{e}{\gamma} = \frac{0,65}{1,5} = 0,433 [m^2K/W]$$

$$R_{Grava} = \frac{e}{\gamma} = \frac{0,065}{0,8} = 0,081 [m^2K/W]$$

$$R_{Arena} = \frac{e}{\gamma} = \frac{0,05}{0,102} = 0,102 [m^2K/W]$$

$$R_{Acero} = \frac{e}{\gamma} = \frac{0,08}{16,3} = 0,0005 [m^2K/W]$$

Reemplazando en (5.4) se tiene:

$$R_{Piso} = 0,433 + 0,081 + 0,102 + 0,0005$$

$$R_{Piso} = 0,617 [m^2K/W]$$

$$U = \frac{1}{R_{Piso}} = 1,620 [W/m^2K]$$

Calculo de A:

$$A = \pi * r^2 = \pi * 3,5^2 = 38,485 [m^2]$$

Reemplazando en (5.3) se tiene:

$$Q_{Piso} = 1,620 * 38,485 * (35 - 5)$$

$$Q_{Piso} = 1870,869 [W]$$

b) Pérdidas por el manto:

$$Q = \frac{A*(T_1-T_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{r_1}{\lambda_1} + \frac{r_2}{\lambda_2} + \frac{r_3}{\lambda_3} + \frac{r_1}{\alpha_2}} \quad (5.5)$$

Donde,

A: Area de transferencia de calor

T₂: Temperatura externa

T₁: Temperatura interna

α: Coeficiente de convección

λ: Coeficiente de conducción

r: Radio cilindro

Cálculo del Área:

$$A = 2 * \pi * r * L = 2 * \pi * 3,5 * 7,97 = 175,273 [m^2]$$

Datos a utilizar:

α₁: 50 [W/m²K] Coeficiente de convección del agua

α₂: 20 [W/m²K] Coeficiente de convección del aire

T₁: 35°C (Temperatura de trabajo dentro del rango mesofilico)

T₂: 3°C (según NCh1078.c73)

λ₁: 16,3 [W/mK] Coeficiente de convección del acero inoxidable

λ₂: 0,052 [W/mK] Coeficiente de convección de la lana mineral

r₁: 3,5 [m]

r₂: 3,508 [m] (8 mm de espesor manto)

r₃: 3,528 [m] (20 mm de lana mineral)

Reemplazando en (5.5) se tiene:

$$Q = \frac{175,273 * (35 - 3)}{\frac{1}{50} + \frac{3,5}{16,3} + \frac{3,508}{0,052} + \frac{3,528}{3,508} + \frac{3,5}{3,528 * 20}}$$

$$Q = 12.353,654 [W]$$

c) Pérdidas por el techo

Cálculo del Área:

$$A = 2 * \pi * r^2 = 2 * \pi * 3,5^2 = 76,969 [m^2]$$

Datos a utilizar:

α_1 : 10 [W/m²K] Coeficiente de convección del aire en conveccion natural

α_2 : 20 [W/m²K] Coeficiente de convección del aire en conveccion forzada

T₁: 35°C

T₂: 3°C

λ_1 : 16,3 [W/mK] Coeficiente de convección del acero inoxidable

λ_2 : 0,052 [W/mK] Coeficiente de convección de la lana mineral

r₁: 3,5 [m]

r₂: 3,508 [m] (8 mm de espesor manto)

r₃: 3,528 [m] (20 mm de lana mineral)

Se utiliza la misma metodología usada para el cálculo de pérdidas en el manto, por lo tanto reemplazando en (5.5) se tiene:

$$Q = \frac{76,969 * (35 - 3)}{\frac{1}{10} + \frac{3,5}{16,3} * Ln \frac{3,508}{3,5} + \frac{3,5}{0,052} * Ln \frac{3,528}{3,508} + \frac{3,5}{3,528 * 20}}$$

$$Q = 4.612,260 [W]$$

Tabla 5.1: Pérdidas de calor del biodigestor

Pérdidas calor suelo	Q _s	1870,859	W
Pérdidas calor manto	Q _m	12.353,654	W
Pérdidas calor cúpula	Q _c	4.612,260	W
Pérdidas totales biodigestor	P	18836,773	W
Pérdidas en ambos estanques	P_T	37673,546	W

5.2 Balance energético del intercambiador de calor

El calor necesario para calefaccionar el orujo dentro de los estanques se suministra a través de un circuito de acero inoxidable AISI 316 de $1\frac{1}{4}$ ”, en su interior circula agua caliente proveniente del cogenerador, la que es responsable de elevar la temperatura del orujo (a 35°C, ver Figura 2.2) mediante un intercambiador de tubos y coraza, posteriormente el agua pasa por el serpentín de ambos estanques, con el fin de mantener la temperatura del proceso.

a) Balance global de energía

Calor que se requiere en el intercambiador es:

$$Q = m * Cp_{orujo} * (t_2 - t_1) \quad (5.6)$$

Cp_{orujo} : 4,186 [kJ/kg°C] (se considera el Cp del agua por el bajo contenido de solidos)

t_1 : 10 °C (temperatura agua potable, se asume)

t_2 : 35 °C (ver Figura 2.2)

m_{orujo} : 0,4741 [kg/s] (carga diaria con un factor de operación del 50%)

Reemplazando en (5.6) se tiene:

$$Q = 0,4741 * 4,186 * (35 - 10)$$

$$Q = 49,612 [kW]$$

b) Flujo de agua requerida para transferir el calor al Orujo:

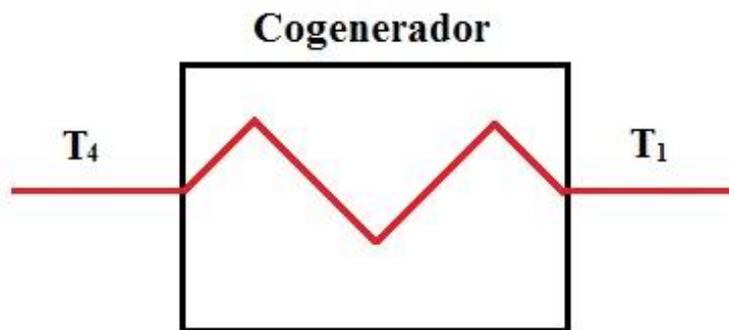


Figura 5.3: Esquema simplificado del cogenerador

$$m_{agua} = \frac{Q}{Cp_{agua} * (T_1 - T_4)} \quad (5.7)$$

Donde,

Q: 207 [kW] Potencia térmica del cogenerador (ver Anexo 2)

$C_{p_{agua}}$: 4,186 [kJ/kg°C]

T_4 : 70°C (Temperatura entrada al cogenerador)

T_1 : 85°C (Temperatura salida del cogenerador)

Reemplazando en (5.7) se tiene:

$$m_{agua} = \frac{207}{4,186 * (85 - 70)}$$

$$m_{agua} = 3,297 \text{ [kg/s]}$$

c) Temperatura de salida del intercambiador de calor:

$$T_2 = T_1 - \frac{Q}{m_{agua} * Cp} \quad (5.8)$$

Donde,

T_2 : Temperatura de salida del intercambiador

T_1 : 85°C

Q: 49,612 [kW] Calor requerido para calentar el orujo

m_{agua} : 3,297 [kg/s] flujo de agua dentro del intercambiador

C_p : 4,186 [kJ/kg°C]

Reemplazando en (5.8) se tiene:

$$T_2 = 85 - \frac{49,612}{3,297 * 4,186}$$

$$T_2 = 81,405^\circ\text{C}$$

d) Flujo de agua por los tubos:

Para 10 tubos (por diseño) se tiene:

$$m_{interior\ tubos} = \frac{3,297}{10} = 0,3297 \text{ [kg/s]}$$

e) Media logarítmica de la diferencia de temperaturas:

$$DT = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}\right)} \quad (5.9)$$

Donde,

T_1 : 85°C, Temperatura de agua de entrada al intercambiador

T_2 : 81,405°C, Temperatura de agua de salida del intercambiador

t_1 : 10°C, Temperatura de entrada del orujo

t_2 : 35°C, Temperatura de salida del orujo

Reemplazando en (5.9) se tiene:

$$DT = \frac{(85 - 10) - (81,405 - 35)}{\ln \frac{(85 - 10)}{(81,405 - 35)}}$$

$$DT = 59,563^\circ C$$

f) Velocidad del fluido al interior de las tuberías del intercambiador:

Caudal de agua: 0,0003297[m³/s]

Diámetro interior: 0,03662 [m] (tubería de 1 ¼" para el intercambiador)

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0,0003297}{\pi * 0,03662^2}$$

$$v = 0,313[m/s]$$

g) Reynold, al interior de los tubos

$$R_{ed} = \frac{v * D}{\nu} \quad (5.10)$$

Donde,

$v = 0,313$ (m/s) (Velocidad del fluido por el interior de los tubos)

$D = 0,03662$ m (Diámetro interior de los tubos dentro del intercambiador)

$\nu = 3,56 * 10^{-7}$ (m²/s) (Viscosidad cinemática a una temperatura de 82°C según tabla de propiedades del agua en estado de saturación ver Anexo 5)

Reemplazando en (5.10) se tiene:

$$R_{ed} = \frac{0,313 * 0,03662}{3,56 * 10^{-7}}$$

$$R_{ed} = 32197,462 > 3000 \therefore \text{Régimen turbulento}$$

h) Número Nusselt (Nu)

$$Nu = 0,023 * R_{ed}^{0,8} * Pr^{0,4} \quad (5.11)$$

Donde,

R_{ed} : Número de Reynold

Pr: Número de Prandtl (2,16 a una temperatura de 82°C según tabla de propiedades del agua en estado de saturación ver Anexo 5)

Reemplazando en (5.11) se tiene:

$$Nu = 0,023 * 32197,462^{0,8} * 2,16^{0,4}$$

$$Nu = 126,405$$

i) Coeficientes convectivos “ α ”

Al interior de los tubos “ α_{int} ” se determina de la siguiente manera:

$$\alpha_{int} = \frac{Nu * \lambda_{agua}}{D_{int}} = \frac{126,405 * 0,598}{0,03662} = 2.064,189 [W/m^2K]$$

Sea “ $\lambda_{acero\ inoxidable}$ ”, Conductividad térmica de la tubería y “ e ” su espesor.

$$\frac{e}{\lambda_{acero\ inoxidable}} = \frac{0,00277}{16,3} = 0,0001699 [W/m^2K]$$

Al exterior de los tubos “ α_{ext} ”, se puede determinar por la fórmula que desarrollaron Churchill y Chu para placas y cilindros verticales

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 * Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 \quad (5.12)$$

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g * \beta * \Delta T * l^3}{\nu^2} * Pr \quad (5.13)$$

Se tiene que:

$$T_R = 20^\circ C$$

$$\nu = 1 * 10^{-6} \text{ (viscosidad cinemática ver Anexo 5)}$$

$$\beta = 2,07 * 10^{-4} \text{ (coeficiente de expansión volumétrica ver Anexo 5)}$$

$$Pr = 7 \text{ (número de Prandtl ver Anexo 5)}$$

$$\Delta T = 35 - 10 = 25^\circ C$$

$$l = \frac{\pi}{2} * D_{ext} = 0,0662 [m]$$

Reemplazando en (5.12) y (5.13) se tiene:

$$Ra = \frac{9,81 * 2,07 * 10^{-4} * 25 * 0,0662^3}{(1 * 10^{-6})^2} * 7 = 103.214.054,7$$

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 * 103214054,7^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{7} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 = 76,0105$$

$$\alpha_{ext} = \frac{Nu * \lambda_{agua}}{l} = \frac{76,0105 * 0,598}{0,0662} = 686,364 [W/m^2 * K]$$

j) Resistencia total y Coeficiente global de transferencia de calor

$$R_T = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{e}{\lambda_{acero inoxidable}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = 0,00211 [m^2K/W]$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 473,632 [W/m^2K]$$

k) Factor de corrección “F” para intercambiadores de tubos y carcasa

$T_1 = 85^\circ\text{C}$, Temperatura de entrada de agua a los tubos

$T_2 = 81,405^\circ\text{C}$, Temperatura de salida de agua de los tubos

$t_1 = 10^\circ\text{C}$, Temperatura de entrada del orujo a la carcasa

$t_2 = 35^\circ\text{C}$, Temperatura de salida del orujo de la carcasa

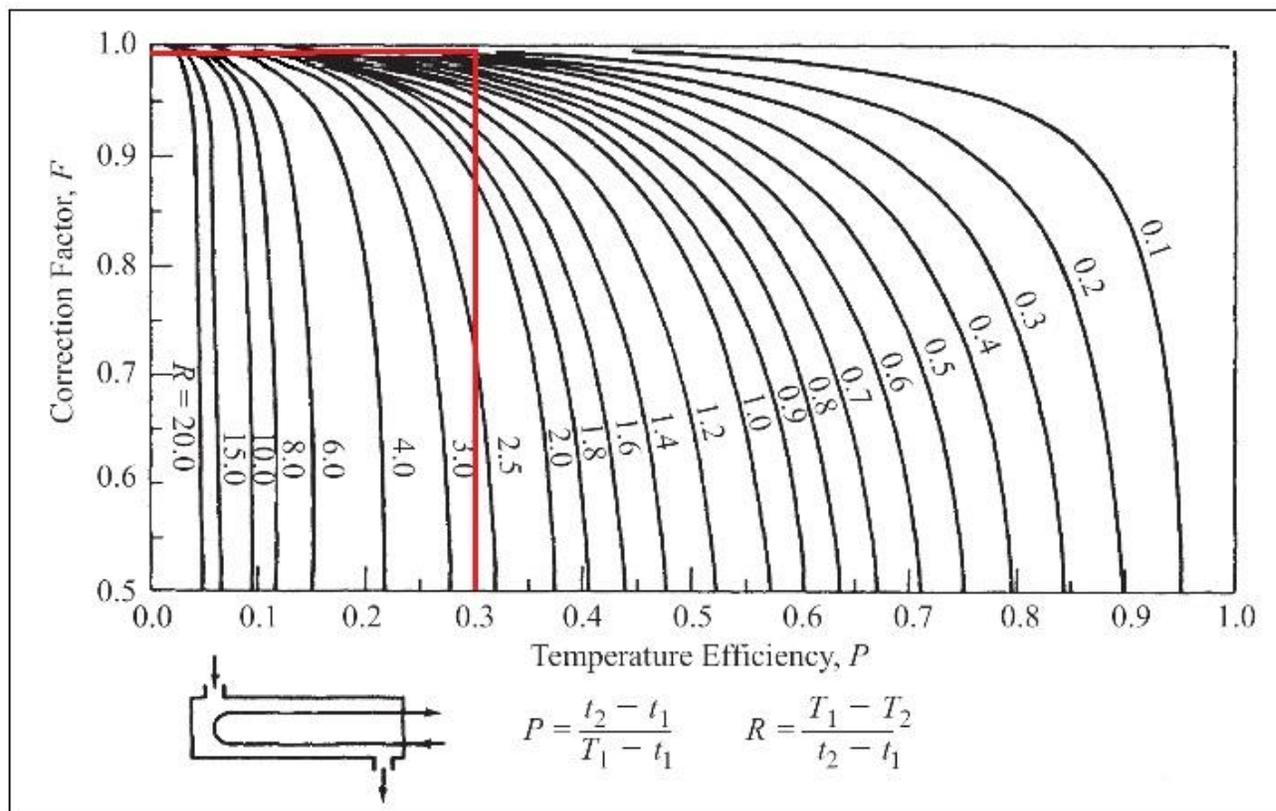


Figura 5.4: Factor de corrección de la diferencia de temperatura media logarítmica para intercambiadores de tubos y carcasa.

$$P = \frac{35 - 10}{85 - 10} = 0,333$$

$$R = \frac{85 - 81,405}{35 - 10} = 0,144$$

Por lo anterior el factor de corrección es: **F=0,99**

l) Largo de los tubos del intercambiador (L)

$$Q = U * A * F * T_{malt} = U * N * \pi * D * L * F * T_{malt}$$

Despejando “L” se tiene:

$$L = \frac{Q}{U * N * \pi * D * F * T_{malt}} \quad (5.14)$$

Donde,

Q: Calor requerido para elevar la temperatura de la mezcla

U: Coeficiente global de transferencia de calor

N: Numero de tubos

D: Diámetro exterior

F: Factor de corrección para intercambiadores de tubos y carcasa

T_{mldt} : Temperatura media logarítmica de la diferencia de temperatura

Reemplazando en (5.14) se tiene:

$$L = \frac{49612}{473,632 * 10 * \pi * 0,04216 * 0,99 * 59,563}$$

$$L = 1,341[m]$$

5.3 Dimensionamiento del serpentín calefactor

El calor necesario para calefaccionar el biodigestor se entregará mediante el uso de tuberías de acero inoxidable de 2 ½'', por las que en su interior circula agua caliente obtenida del cogenerador. Las tuberías mencionadas se instalarán en las paredes del biodigestor.

Datos para el cálculo del serpentín:

$$Q = m_{agua} * Cp * (T_2 - T_3) \quad (5.15)$$

Donde,

Q: 75.347,092 [W], Pérdidas calculadas anteriormente multiplicadas por dos para efecto de sobre dimensionar el serpentín.

T_2 : 81,405°C, Temperatura de entrada al estanque

m_{agua} : 3,297[kg/s]

Cp : calor específico del orujo (4,186 [kJ/kg°C])

Reemplazando en (5.15) se tiene:

$$75.347,092 = 3,297 * 4,186 * (81,405 - T_3)$$

$$T_3 = 75,945 \text{ } ^\circ\text{C}$$

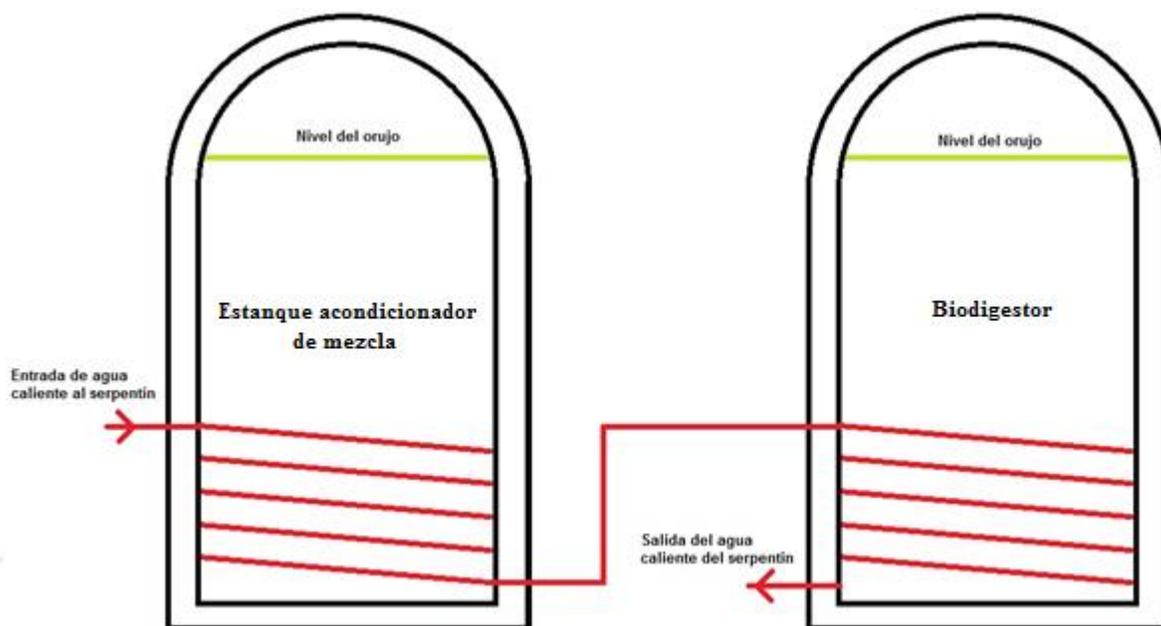


Figura 5.5: Serpentín calefactor (Elaboración propia)

Para calcular el largo del serpentín que pasa por ambos estanques se utilizara la siguiente fórmula

$$Q = U * A * T_{mldt} \quad (5.16)$$

Donde,

A = Superficie total de intercambio de calor (m²).

U = Coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K)

T_{mldt}= media logarítmica de la diferencia de temperaturas (°C).

Q = Calor necesario para mantener los 35°C en ambos estanques (W)

a) Media logarítmica de la diferencia de temperaturas

$$DT = \frac{(T_2 - t_1) - (T_3 - t_2)}{\ln \frac{(T_2 - t_1)}{(T_3 - t_2)}} \quad (5.17)$$

Con el fin de asegurar que la temperatura de trabajo se mantenga dentro de ambos estanques, se asume una baja de temperatura en la mezcla de 5°C, es decir, su temperatura llegue a los 30°C.

Temperatura de la mezcla t₁= 30°C

Temperatura necesaria a mantener en la mezcla t₂= 35°C

Temperatura del agua a la entrada del serpentín T₂= 81,405°C

Temperatura del agua a la salida del serpentín T₃= 75,945°C

Reemplazando en (5.17) se tiene:

$$DT = \frac{(81,405 - 30) - (75,945 - 35)}{\ln \frac{(81,405 - 30)}{(75,945 - 35)}}$$

$$DT = 45,977^{\circ}C$$

b) Número de Reynold

$$Re_d = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (5.18)$$

Donde,

$v = 0,937$ (m/s) (Velocidad del fluido)

$D = 0,06692$ m (Diámetro interior del tubo)

$\nu = 7,68 \cdot 10^{-7}$ (m²/s) (Viscosidad cinemática a una temperatura de 32°C ver Anexo 5)

Reemplazando en (5.18) se tiene:

$$Re_d = \frac{0,937 * 0,06692}{7,68 * 10^{-7}}$$

$$Re_d = 81671,932 > 3000 \therefore \text{Regimen turbulento}$$

c) Número Nusselt (Nu)

$$Nu = 0,023 * Re_d^{0,8} * Pr^{0,4} \quad (5.19)$$

Donde,

Re_d : Número de Reynold

Pr : Número de Prandtl (5,17 a una temperatura de 32°C ver Anexo 5)

Reemplazando en (5.19) se tiene:

$$Nu = 0,023 * 81671,932^{0,8} * 5,17^{0,4}$$

$$Nu = 377,383$$

d) Coeficiente global de transmisión de calor “U”

Al interior de los tubos “ α_{int} ” se determina de la siguiente manera:

$$\alpha_{int} = \frac{Nu * \lambda_{agua}}{D_{int}} = \frac{377,383 * 0,598}{0,06692} = 3372,311 [W/m^2K]$$

Sea “ $\lambda_{\text{acero inoxidable}}$ ”, Conductividad térmica de la tubería y “ e ” su espesor.

$$\frac{e}{\lambda_{\text{acero inoxidable}}} = \frac{0,00305}{16,3} = 0,00017 [W/m^2K]$$

Al exterior de los tubos “ α_{ext} ”, se puede determinar por la fórmula que desarrollaron Churchill y Chu para placas y cilindros verticales

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 * Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 \quad (5.20)$$

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g * \beta * \Delta T * l^3}{\nu^2} * Pr \quad (5.21)$$

Se tiene que:

$$T_R = 32^\circ C$$

$$\nu = 7,68 * 10^{-7} \text{ (viscosidad cinemática, ver Anexo 5)}$$

$$\beta = 3,21 * 10^{-4} \text{ (coeficiente de expansión volumétrica, ver Anexo 5)}$$

$$Pr = 5,17 \text{ (número de Prandlt, ver Anexo 5)}$$

$$\Delta T = 35 - 30 = 5^\circ C$$

$$l = \frac{\pi}{2} * D_{\text{ext}} = 0,0662 [m]$$

Reemplazando en (5.20) y (5.21) se tiene:

$$Ra = \frac{9,81 * 3,21 * 10^{-4} * 5 * 0,0662^3}{(7,68 * 10^{-7})^2} * 5,17 = 40.084.233,64$$

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 * 40084233,64^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{5,17} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 = 52,869$$

$$\alpha_{\text{ext}} = \frac{Nu * \lambda_{\text{agua}}}{l} = \frac{52,869 * 0,598}{0,0662} = 477,403 [W/m^2 * K]$$

e) Resistencia total y Coeficiente global de transferencia de calor

$$R_T = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{e}{\lambda_{acero\ inoxidable}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = 0,00258 [m^2K/W]$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 387,850 [W/m^2K]$$

Reemplazando en (5.16) se tiene:

$$75347,092 = 387,850 * A * 45,977$$

Despejando el área de transferencia de calor se tiene:

$$A = 4,225 [m^2] = L * \pi * D_{ext}$$

Despejando el largo resulta:

$$L = 18,419[m]$$

Se utiliza un diámetro exterior de tubería de 0,07302 [m] para el diseño del serpentín calefactor dentro de cada estanque, y para el largo de tubería, pese a que el calculado fue 18,419 [m] se considerara una vuelta al interior de cada estanque (Perímetro de cada estanque = 21,991 [m]), con la finalidad de aumentar el área de transferencia de calor y así asegurar la temperatura optima del proceso.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se abordará el tema económico que implica instalar la central a biogás que se diseñó en los capítulos anteriores, para esto es necesario realizar un análisis sobre la inversión, costos e ingresos que conforman el flujo de caja del proyecto. Este flujo considera tres distintos escenarios de precios de la energía (pesimista, conservador y optimista), donde se consideran las variaciones futuras que podrían experimentar los precios. Posteriormente se realiza un análisis de sensibilidad de este proyecto, en el cual se hacen variar factores que influyen en este proyecto y como afectan a la rentabilidad de este proyecto en particular.

6.1 Flujo de caja

Para realizar el flujo de caja se deberá analizar de forma separada la inversión, costos e ingresos, al igual que otros elementos de este, como depreciaciones y capital de trabajo. Para analizar las rentabilidades asociadas, se considera que la tasa de descuento será de un 10% (GARAY GARCÍA, 2011). Sin embargo, al final de éste capítulo se analizará cómo cambia la rentabilidad del proyecto al variar dicha tasa. A continuación se analizará con más detalle respecto de cada uno de los puntos que definen un flujo de caja.

6.1.1 Inversión estimada de la planta de biogás

Como se puede apreciar en la Tabla 6.1 se determinó el costo total de la inversión requerida por la planta a biogás, para luego así estimar costos de instalación y diversos factores que afectan al proyecto y que deben ser considerados en la inversión total (Tabla 6.2).

Tabla 6.1: Cálculo de costos planta a biogás

Calculo de inversión Biodigestores e instalación			
Elemento	CLP	USD	US\$/kW
Costo 2 estanques AISI 316	150.391.296	221.164	1.655
Costo tuberías inox.	3.797.695	5.585	42
Costo tuberías intercambiador	242.817	357	3
Costo tuberías PVC	227.079	334	2
Costos Bombas	1.730.960	2.546	19
Costos Agitadores	24.200.330	35.589	266
Costo almacenador de biogás	9.542.950	14.034	105
Costo Tuberías transporte biogás	178.500	263	2
Costo elementos de control	2.278.530	3.351	25
Costo Compresor 15 bar	7.242.000	10.650	80
Costo total	199.832.157	293.871	2.199

Tabla 6.2: Inversión estimada en la planta de biogás (Elaboración propia)

Inversión	Valor	Unidad	Total US\$	Total \$
Biodigestores e instalación	2.199	US\$/kW	293.871	199.832.157
Motor cogenerador	577	US\$/kW	77.105	52.431.225
Instalación	30%		88.161	59.949.647
Ingeniería	15%		44.081	29.974.823
Puesta en marcha	15%		44.081	29.974.823
Obras civiles	10%		29.387	19.983.216
Equipos eléctricos, Piping y aislantes	15%		44.081	29.974.823
Contingencia	15%		44.081	29.974.823
Total			664.846	452.095.538

Los porcentajes de estimación de los diversos factores que afectan este proyecto fueron extraídos de la fuente (GARAY GARCÍA, 2011).

6.1.2 Horizonte de evaluación del proyecto

Existen tres casos para evaluar económicamente un proyecto, los casos son los siguientes:

- Caso 1: Vida finita del proyecto (contrato)
- Caso 2: Vida de los activos principales (plantas industriales)
- Caso 3: Vidas diferentes o activos de larga duración, se debe utilizar el máximo plazo de financiamiento.

En este proyecto se utilizará el caso 2, donde el horizonte de evaluación económica a utilizar es de 30 años, ya que los activos principales de este proyecto (estanques y cogenerador) poseen una vida aproximada de 30 años (SII, 2002).

6.1.3 Escenarios de precios de energía

Existen tres modelos de negocios de los cuales se utiliza el más adecuado para el presente proyecto.

Los tres modelos de negocios del mercado de generación:

1. **Precio spot:** Estos precios son utilizados en el mercado spot. Los generadores pueden comprar o vender energía a otros generadores para cumplir con sus obligaciones (contratos).
2. **Precio de Nudo:** Precio utilizado para transar energía y potencia entre generadores y distribuidores. Reciente introducción de precio de licitaciones.

3. Precio no regulado: Contratos bilaterales entre generadores y grandes consumidores.

En este proyecto se considera que el generador vende su energía y potencia al mercado utilizando los precios de nudo, los cuales son determinados semestralmente por la ley general de servicios eléctricos y la publicación de la ley N°20.805. Esta opción se considera en todo el periodo de evaluación (30 años), donde se venderá la energía y potencia generada por la planta de biogás a los precios establecidos para el distribuidor actual (Frontel) del año 2015.

Tabla 6.3: Precios de nudo de Yumbel. (BCN, 2015)

Precio nudo de energía promedio Yumbel	\$/kWh	46,822
Precio nudo de potencia promedio Yumbel	\$/kWmes	4.955,06

Considerando que los precios varían semestralmente, para el presente estudio y con la información antes mencionada, se procede a trabajar en tres distintos escenarios (pesimista, conservador y optimista), de tal modo de abarcar un rango de precios aceptable.

Tabla 6.4: Escenario base del proyecto (Valores 2015)

Parámetros	Unidad	
Impuesto a la renta	%	19
Tasa de descuento	%	10
Tipo de cambio Peso/ Dólar	\$/US\$	680
Tipo de cambio Peso/Euro	\$/EUR	770
Precio del consumo eléctrico en Yumbel	\$/kWh	161
Precio nudo de energía promedio Yumbel	\$/kWh	46,822
Precio nudo de potencia promedio Yumbel	\$/kWmes	4.955,06
Precio del bono de carbono (CER)	US\$/ton	9,5

- Escenario pesimista: Precio inicial de 46,822 US\$/kWh y un crecimiento anual del -2%.
- Escenario conservador: Precio inicial de 46,822 US\$/kWh y un crecimiento anual del 1%.
- Escenario optimista: Precio inicial de 46,822 US\$/kWh y un crecimiento anual del 2%.

6.1.4 Ingresos

Es posible definir 4 tipos de ingresos asociados a este proyecto: por venta de energía, por venta de potencia, por venta de bonos de carbono y por ahorro de energía en autoconsumo. A continuación se analizará cada uno de forma independiente.

6.1.4.1 Venta de energía

La venta de energía al sistema interconectado es uno de los principales ingresos del proyecto, el cual corresponde a la venta del 36,45% de la energía producida. Tal como fue definido anteriormente, el modelo de negocios que se utiliza es el de venta de energía y potencia a precio de nudo con régimen estabilizado de precios (precio nudo), asociado a la distribuidora actual de la empresa (Frontel). Así los ingresos por concepto de venta se obtienen de la multiplicación del precio de la energía, en cada uno de los escenarios antes mencionados, por el excedente de energía anual, puesto que la otra energía se utiliza para autoconsumo y en los equipos utilizados en la planta de biogás. En este ítem, las variaciones de precio de la energía se tornan muy importantes de analizar, ya que dicho precio es afectado por muchos factores externos. Es por dicha razón que considerar los tres escenarios de precios (pesimista, conservador y optimista) es de gran importancia para la rentabilidad final del proyecto.

6.1.4.2 Venta de potencia

El pago por capacidad (o potencia) es un instrumento que estimula la suficiencia del mercado eléctrico. La venta de capacidad es un cargo por la disponibilidad de dar el servicio; así, este incluye los costos de proveerla, lo que corresponde a los costos fijos de capital, y es asignado entre los consumidores que demandan en la punta.

El pago que el sistema realiza a los generadores viene dado en unidades monetarias por unidad de potencia mensual que ésta posea.

Según los precios establecidos mencionados en la Tabla 6.3 se determina el precio de la potencia asociado a la distribuidora Frontel, el cual corresponde a 4.955,06 \$/kW-mes. Se asume que el valor no sufre modificaciones durante el periodo de evaluación del proyecto. Adicionalmente, en el análisis de sensibilidad, se concluye que en caso de haber variaciones a este valor, no afecta en significativamente a las rentabilidades finales del proyecto.

6.1.4.3 Venta de bonos de carbono

Los bonos de carbono son reducciones certificadas de emisiones de gases efecto invernadero o CERs (Certified Emission Reductions). El CER es la unidad de medida correspondiente a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente, estos se generan en la etapa de ejecución del proyecto y se extienden una vez se acredite dicha reducción, amortizando en cierta medida los costos de la inversión.

Para calcular la cantidad de CERs generados en el proyecto, se usará otro proyecto similar de biomasa que consideró la venta de estos certificados. En la referencia (Palma Behnke, Vargas Díaz, & Brokering Christie, 2006) se calcula detalladamente la cantidad de toneladas de dióxido de carbono equivalente que se dejan de emitir a la atmósfera en ese proyecto específico de biomasa. En vista que este proyecto no está enfocado en la determinación exhaustiva de los bonos de carbono emitidos, se ha optado por utilizar los CERs vendidos por unidad de potencia (en MW) determinados en el proyecto antes mencionado, lo que corresponde a 2.693 toneladas de dióxido de carbono por MW generado. Así, para obtener la cantidad de CERs que el proyecto estudiado actualmente puede vender, solo basta multiplicar la potencia generada año por este valor. Finalmente, el precio estimado de venta por unidad de CER se consideró de 9,5 US\$/ton CO₂, valor que es considerado constante durante el periodo de evaluación, no obstante, al igual que el precio de venta de potencia al sistema, se estudió el impacto en la rentabilidad del proyecto al variar el precio antes mencionado, donde se determina la importancia de este ingreso para el presente estudio.

6.1.4.4 Ahorro de energía en autoconsumo

El autoconsumo de energía eléctrica en la vitivinícola es el ingreso más significativo en este estudio, ya que significa utilizar un 57,37% de la energía eléctrica generada en la planta de biogás, para satisfacer la demanda de energía anual de la vitivinícola de 279.876 kWh. Por ello que gracias a la energía que genera la planta de biogás se evita pagar mensualmente por energía comprada al distribuidor actual de energía eléctrica, pagando un precio por consumo eléctrico en Yumbel de 161 \$/kWh, considerando que el consumo mensual de energía eléctrica de la vitivinícola es de 23.323 kWh mensuales, se obtiene un ahorro mensual de 3.755.003 pesos y anualmente una cifra no despreciable de 45.060.036 pesos. Esto hace ver que el ahorro de energía para autoconsumo es el ingreso más importante del proyecto, el cual está considerado en el flujo de caja, afectando positivamente la rentabilidad del estudio.

6.1.5 Costos

Los costos asociados a este proyecto son principalmente dos: costos de operación y mantenimiento y costos por inversiones en intangibles. A continuación se detallará cada uno de éstos.

6.1.5.1 Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación son principalmente los que se requieren para mantener funcionando el sistema. Se considera como un costo de operación el manejo del orujo, la extracción y el almacenaje del biogás producido, así como también la limpieza del biodigestor de los residuos que no son capaces de digerirse y que quedan en forma de polvo en el fondo de éste.

Los costos de mantenimiento corresponden principalmente a repuestos y mantenciones generales que se deben hacer periódicamente a los componentes de la planta. Estos costos son un poco más elevados que los de operación, por el hecho de que involucran repuestos de valor elevado, especialmente en el biodigestor, dado que la digestión genera H_2S que va degradando las tuberías y materiales en general. De todas formas, los materiales utilizados en este estudio (PVC y AISI 316) son resistentes a la corrosión producida por el gas antes mencionado. El valor utilizado como costo de operación y mantenimiento de la planta fue obtenido de la referencia (GARAY GARCÍA, 2011). Dicha fuente aportó el costo estimado de operación y mantenimiento el cual fluctúa entre un 4% a 6% de la inversión total, en este proyecto en particular sólo se utilizó un 4%, puesto que no se ha contratado a otros trabajadores especialistas que generen más gastos en sueldos. Para reducir costos por contratación de personal, el mantenimiento de la planta de biogás, se le ha asignado al personal encargado de la mantención de la vitivinícola, ya que son personas con conocimientos en el rubro y solo será requerida una capacitación previa para adquirir el conocimiento necesario de la maquinaria de la planta a biogás.

6.1.5.2 Costo por inversión en intangibles

Los costos en intangibles en los cuales se ha invertido son los siguientes, las patentes para funcionar legalmente, contratos, seguros por daño a equipos como motores, bombas, agitadores, etc. Además es importante contratar seguros en caso de terremotos, aluviones e inclemencias del clima que puedan provocar perder la inversión (Solo para equipos de mayores costos como biodigestores y motor cogenerador). Este costo por inversión en intangibles se estima en un 0,5% de la inversión total.

Además de los costos intangibles ya nombrados, existen otros que son más difíciles de identificar, pues están sujetos a una percepción subjetiva de quien los mide. Usualmente están referidos a “rangos preestablecidos” por la industria. Ejemplo de ello es la determinación de rotación del personal, el prorrateo de las horas de un empleado en varios puestos de trabajo, etc. (GARAY GARCÍA, 2011)

6.1.6 Depreciaciones

La depreciación corresponde a la disminución del valor de los activos por su uso y deterioro. Como no corresponde a un costo real monetario para la empresa, debe sumarse una vez descontados los impuestos respectivos, por lo que otorga una disminución en los impuestos a pagar.

La depreciación en el presente proyecto se supuso lineal y a 30 años, es decir, a los 30 años los activos tienen un valor residual igual a cero.

6.2 Resultados

Hechos los flujos de caja respectivos para cada escenario de precios de la energía (Pesimista, Conservador y Optimista), se obtuvieron los indicadores que se muestran en la Tabla 4.3. En ésta se incluye el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (PRI).

Tabla 6.5: Resultados de la evaluación económica

	VAN \$	TIR %	PRI (años)	TD
Pesimista	- 116.700.232	7%	13	10%
Conservador	- 101.107.030	7%	13	10%
Optimista	- 95.909.296	7%	13	10%

Se puede afirmar que el proyecto no es factible de realizar económicamente en los tres escenarios (Pesimista, conservador y optimista), esto debido a que el VAN es negativo para todos los casos y el TIR es menor a la tasa de descuento (10%). Pese a los resultados obtenidos y en vista del periodo de recuperación determinado, el cual es menor a la mitad del horizonte de evaluación, se recomendaría implementar la planta de biogás antes estudiada, en caso de que el objetivo de la empresa fuese mejorar su imagen o bien reducir el impacto ambiental que está causando en el sector.

En el Anexo 4 se muestran los flujos de caja elaborados en cada uno de los escenarios de precios considerados, y que llevaron a los resultados mostrados anteriormente.

6.3 Análisis de sensibilidad

Mediante este tipo de análisis se puede observar que factor tiene más relevancia en la rentabilidad final del proyecto. Este análisis es realizado con el precio del bono de carbono, el precio nudo de potencia y la tasa de descuento. Si bien se consideraron 3 escenarios posibles para los distintos

precios de la energía eléctrica, es necesario realizar este tipo de análisis, ya que se observa el comportamiento económico del proyecto cuando estos factores sufren variaciones.

6.3.1 Precio del bono de carbono

Para analizar como varía el valor actual neto del proyecto (VAN) con el cambio del precio de los bonos de carbono que venderá la central, se hizo variar el precio base de 9,5 US\$/ton CO₂. Se optó por utilizar como límites 7,5 y 11,5 US\$/ton CO₂, con un paso de 0,5 US\$/ton CO₂. Al realizar todos los flujos de cajas respectivos se obtuvo el siguiente gráfico que se muestra en la Figura 6.1.

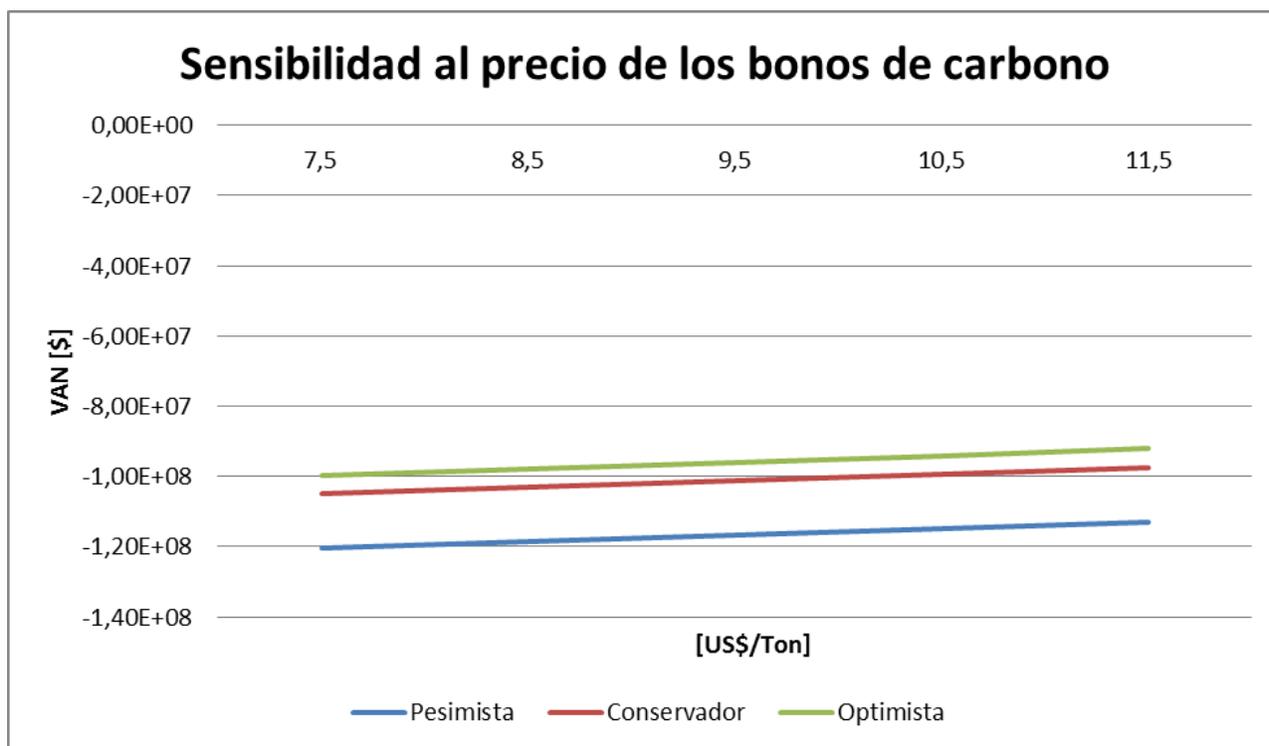


Figura 6.1: Variación del VAN en función del precio de los bonos de carbono (Elaboración propia)

Viendo la figura anterior se puede decir que el comportamiento del VAN ante cambios en el precio de los bonos de carbono es lineal y de pendiente bastante baja (son todas paralelas y por ende poseen la misma pendiente). Esto quiere decir que al aumentar en 1 US\$/ton CO₂ el precio del bono de carbono, el VAN se incrementará de manera similar en cualquiera de los tres escenarios. De este modo, se puede apreciar que si el precio del bono de carbono 1 US\$/ton CO₂ se aumentaría el VAN en \$1.868.801, cifra que aumentaría la rentabilidad del proyecto y de manera contraria disminuiría la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, en el caso de que en los próximos años se suprima el comercio de CERs por algún método de transacción nuevo y diferente, se estarían dejando de recibir

dinero, que en definitiva, si bien el precio de los bonos de carbono no es un elemento decisivo en la decisión de ejecutar o no el proyecto, en caso de que se suprima su mercado se dejará de recibir bastante dinero que hará que el VAN caiga y que la TIR sufra una caída acorde a las reducciones del VAN.

6.3.2 Precio Nudo de potencia

Al igual que con los bonos de carbono, se fue modificando el precio nudo de potencia considerado como valor base igual a 4.955,06 \$/kWmes y un paso correspondiente al 5% de este valor, con el fin de observar cómo afectan estas variaciones en el VAN del proyecto. En la Figura 6.2 se muestra dicho comportamiento.

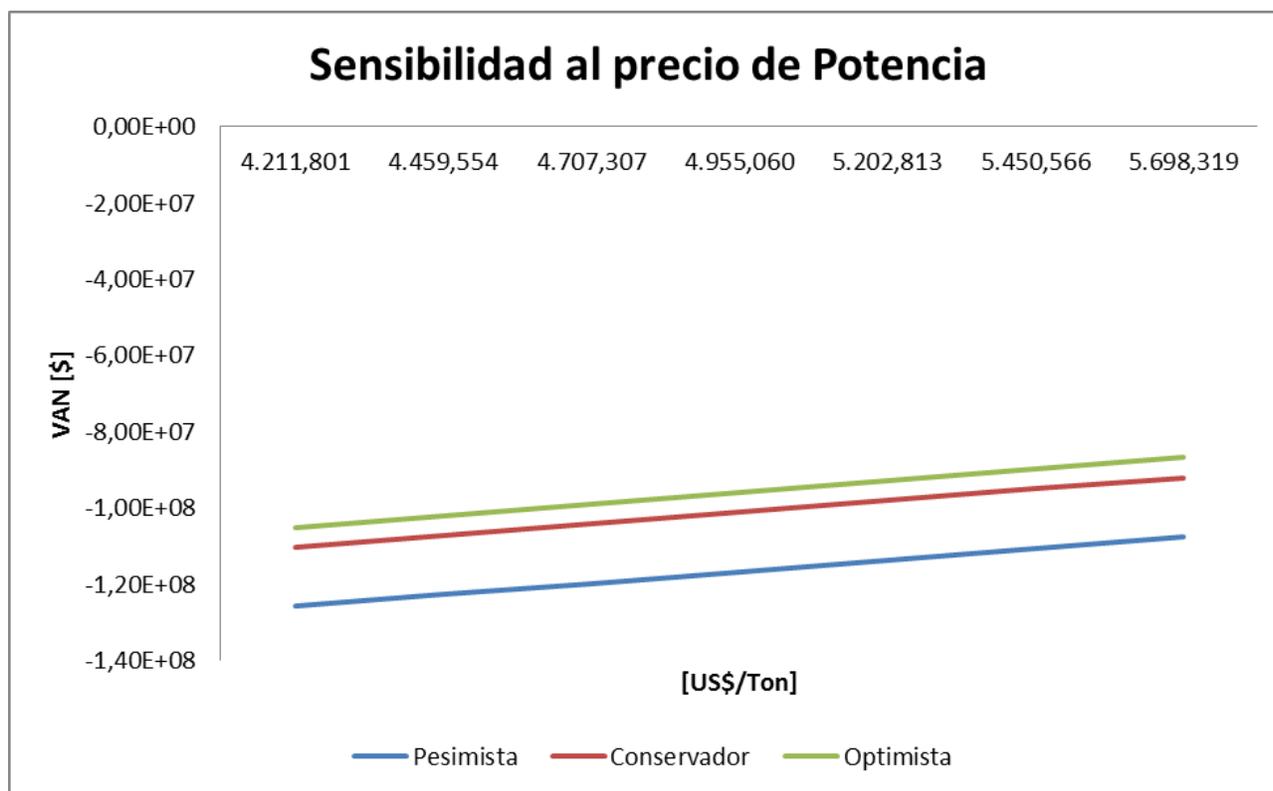


Figura 6.2: Variación del VAN en función de los precios de la potencia (Elaboración propia)

Viendo la figura anterior se puede decir que el comportamiento del VAN ante cambios en el precio de potencia es lineal y de pendiente algo más pronunciada que en el gráfico de precios de bonos de carbono. Se puede observar en el gráfico que al ir variando los precios de la potencia en un 5% del valor base se obtienen diferencias en el VAN de \$ 3.034.016 pesos.

Así, se puede afirmar que la variación del precio nudo de potencia es una variable importante de observar a la hora de evaluar la rentabilidad del proyecto, pero no es decisiva al momento de evaluar la realización o no de este proyecto como podría serlo en un proyecto de mayor envergadura como sería un proyecto de más de 500kW.

6.3.3 Sensibilidad al cambio de material

Como este proyecto posee una inversión inicial demasiado elevada, la que corresponde en mayor parte al costo del acero inoxidable de los estanques, se considera un análisis de sensibilidad al cambio de materiales de estos estanques. Los materiales que se utilizan para este análisis son AISI 316 (acero considerado en este estudio) y AISI 304 (acero considerado para reducir inversión), donde se obtuvo el gráfico que se muestra en la figura 6.3.

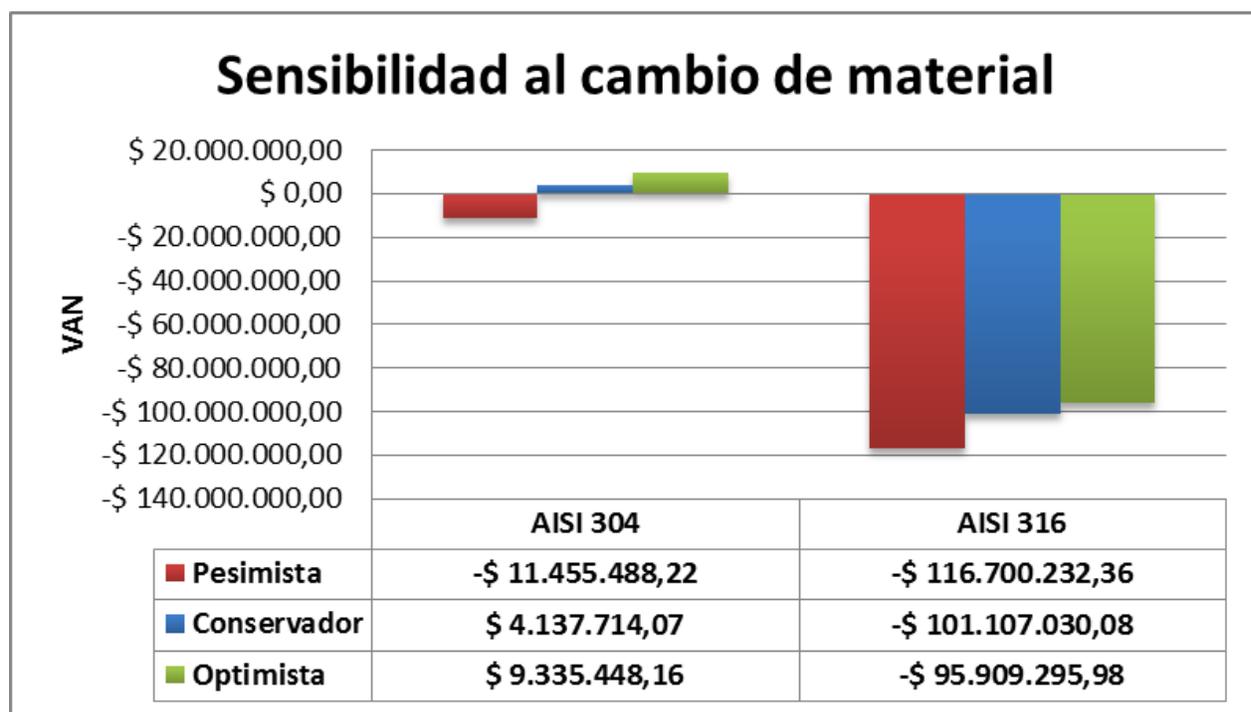


Figura 6.3: VAN obtenido en función de los distintos materiales

Como se puede apreciar en la figura 6.3 al utilizar el material AISI 304 se obtienen VAN positivos en los casos conservador y optimista, pero pese a esto se decidió usar el acero AISI 316, debido a que el acero inoxidable AISI 304 es corroído por el ácido sulfhídrico, por lo cual no se podría asegurar su durabilidad en el horizonte de evaluación del proyecto (30 años).

6.3.4 Tasa de descuento

Para concluir con el análisis de sensibilidad se determina el comportamiento del VAN al variar la tasa de descuento con la cual se evalúa el proyecto. Los límites a utilizar para el análisis son 6% y 14% (siendo el valor base de 10%), con un paso de un 1%. De esta iteración se obtuvo el gráfico que se muestra en la Figura 6.4.

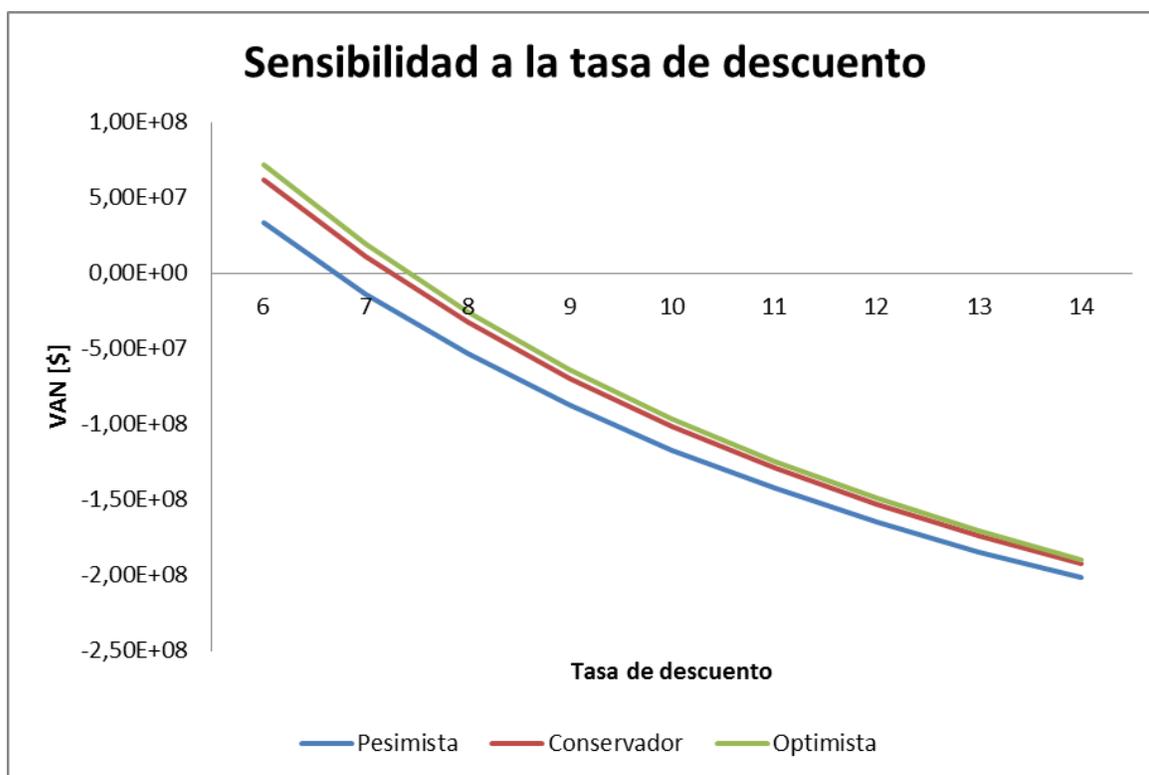


Figura 6.4: Variación del VAN en función de la tasa de descuento (Elaboración propia)

Al obtener la línea de tendencia cuadrática de cada una de las curvas se obtienen correlaciones de aproximadamente 0,9995, valor que indica que el comportamiento sigue una tendencia parabólica. Como era de esperarse, cada una de las curvas corta al eje horizontal en el valor correspondiente a la TIR para cada escenario, debido a que justamente el cálculo de la TIR se efectúa cuando el VAN se iguala a cero.

Cabe señalar, que al variar en un 1% la tasa se obtienen diferencias de hasta un 555% en el VAN. Así, se observa que, como en todo proyecto, la tasa de descuento es muy importante para el cálculo de la rentabilidad, pues es el costo de oportunidad de ese dinero invertido. Es por esta razón que la tasa de descuento se transforma en el factor más importante a la hora de evaluar económicamente un proyecto, puesto que produce cambios enormes que afectan en el VAN del proyecto de forma

favorable como desfavorable. Por ello, se puede afirmar que la tasa de descuento es el factor de sensibilidad que se le debe dar más importancia y tenerlo muy en cuenta a la hora de decidir si realizar un proyecto o no hacerlo.

De la Figura 6.3 se puede deducir que para este proyecto con una tasa inferior o igual a 7% el proyecto es rentable, ya que se obtienen VAN positivas y la TIR es mayor a la tasa de descuento.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

Este estudio presentó una evaluación tanto técnica como económica sobre la factibilidad de generar biogás para la producción de electricidad para satisfacer diferentes usos energéticos, esto se logra a través de un biodigestor que funciona a base de orujo de uva, el cual es un subproducto de la vitivinícola Dos Andes S.A. que se encuentra en la VIII región de Chile. Como se pudo apreciar el uso del biodigestor ofrece grandes ventajas para el tratamiento del orujo de uva, como lo es el uso de la energía contenida en estos la cual anteriormente era desaprovechada. Se produce un fertilizante de excelente calidad y con esto se logra reducir el daño al ambiente que provocaba botar este orujo en los campos aledaños a la vitivinícola.

La vitivinícola Dos Andes S.A. como se pudo apreciar, cuenta con bodegas donde se encuentran los estanques para el añejado del vino, es en estas bodegas donde se obtiene el orujo dentro de los meses de febrero a junio.

Con el periodo de producción se calculó el volumen de orujo posible a generar en la vitivinícola, llegando a un valor de 20,48 m³ diarios, con este valor se pudo dimensionar el biodigestor adecuado para almacenar el orujo por los 15 días de retención a 35°C necesarios para producir una mayor cantidad de biogás, llegando a la conclusión de que la alternativa más adecuada a utilizar era un tipo de biodigestor de tamaño industrial.

Al invertir en esta planta de biogás la vitivinícola podrá tratar todos sus residuos generados y de esa manera cumplir con la aplicación de las leyes ambientales vigentes, además se pudo dimensionar que la cantidad de biogás que era capaz de generar la planta fue de 1310,720 m³ biogás diario. Con este biogás disponible es posible generar en un sistema de cogeneración de 170 kW la no despreciable energía eléctrica de 487.816 kWh/año, con la cual se llegó a la conclusión que para el autoconsumo de energía eléctrica en la vitivinícola será necesario utilizar el 57,37% de la energía generada y para el funcionamiento de la planta de biogás era necesario utilizar el 6,18%, luego de realizar los estudios energéticos pertinentes sobre la energía utilizada en la vitivinícola y en el funcionamiento de la planta de biogás, se llegó a la conclusión de que había un excedente de 36,45% de energía generada que es posible utilizarla para venderla al SIC, y de esta manera hacer más rentable la inversión en esta nueva tecnología, junto con esta energía eléctrica también se produce energía térmica, la cual corresponde a 593.639 kWh/año los cuales serán utilizados en su totalidad para mantener la temperatura de los estanques y para elevar la temperatura del orujo al pasar por el intercambiador.

Además de la venta de energía al SIC se evaluó la idea de hacer más rentable la inversión vendiendo la potencia eléctrica generada y los bonos de carbono por no emitir CO₂ a la atmosfera, llegando de esta manera a mejorar la rentabilidad del proyecto, además se le da más valor a la vitivinícola, puesto que al contribuir con el cuidado del medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se podrá mostrar como una empresa verde que fomenta el desarrollo sustentable, ganando valor y la aprobación de la sociedad que hoy en día es un punto muy importante, sobre todo en las empresas que generan energía eléctrica.

La importancia de los valores obtenidos de energía generada y de los porcentajes que se usarán en la vitivinícola y en la planta de biogás, son suficiente para afirmar que se logró comprobar que es factible técnicamente la instalación de la planta de biogás en la vitivinícola para el autoconsumo de energía eléctrica, y para solucionar el problema energético-ambiental de la vitivinícola.

Respecto a la evaluación económica hecha, se puede decir que los resultados obtenidos son negativos para la inversión en la planta de biogás. Para realizar la evaluación se consideraron tres escenarios de precios distintos (pesimista, conservador y optimista) para vender la energía generada por la planta de biogás al sistema de venta de Yumbel_220, se construyeron tres flujos de caja que sirven para analizar el comportamiento económico del proyecto en distintos escenarios. Se observa que el VAN del proyecto en un caso conservador de precios es de -192 millones de pesos y con una TIR de 7%. Estos resultados no son nada alentadores para la vitivinícola.

Según las evaluaciones anteriormente señaladas se concluyó que no es factible diseñar una planta de biogás que funcione a base de orujo en la vitivinícola Dos Andes, Esto debido a que la producción de orujo solo es en los meses de febrero a Junio, por lo cual se obtiene un factor de planta de 42%, lo que hace que el proyecto de la planta de biogás no sea un proyecto rentable, sin embargo, al cambiar los materiales del biodigestor por un acero AISI 304 se obtienen resultados positivos (solo en caso conservador y optimista) en el VAN y TIR, pero debido a que este material es corroído al ser expuesto al ácido sulfhídrico no se recomendaría utilizar este tipo de material.

Pese a los resultados obtenidos se realizaron análisis de sensibilidad para determinar los factores que más influyen a la hora de llevar a cabo un proyecto de esta envergadura, se hizo variar el precio de los bonos de carbono, el precio de la potencia eléctrica vendida y la tasa de interés, con esto se determinó que los primeros factores no son influyentes a la hora de determinar si realizar o no el proyecto, por el contrario al variar la tasa de interés se obtuvieron resultados que varían en más de un 555%, por lo que la tasa de interés es un factor clave a la hora de decidir si realizar o no el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- **Bautista Buhingas, A. (2010).** Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid escuela politecnica superior.
- **BCN. (2015).** Biblioteca del congreso nacional de Chile. Obtenido de <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1078703>
- **Canett Romero, R., Ledesma Osuna, A., Maribel Robles, R., Morales Castro, S., León Martínez, L., & León-Gálvez, R. (Marzo de 2004).** Caracterización de galletas elaboradas con cascarilla de orujo de uva. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora Hermosillo, 10.
- **CIFES. (Enero de 2015).** ERNC en Chile. Obtenido de Centro para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables: <http://www.cifes.gob.cl/reporte/2015/ReporteResumenAnual.pdf>
- **GARAY GARCÍA, O. A. (2011).** Análisis técnico-económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás. Santiago: Universidad de Chile.
- **Hilbert, J. (2003).** Manual para la producción de biogás. Castelar: Instituto de Ingeniería Rural.
- **IDAE. (Octubre de 2007).** Biomasa: Digestores anaerobios. Revista de energía renovable, 48.
- **Kaiser, F. F. (Julio de 2002).** Producción de Biogás a partir de Guano Animal: el Caso de Alemania. Revista Agronomía y Forestal UC(16), 4-8.
- **MINENERGÍA/GIZ. (Junio de 2012).** Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile. Proyecto energías renovables no convencionales, 136.
- **Municipalidad de Yumbel. (2015).** Antecedentes generales de la comuna. Obtenido de <http://www.yumbel.cl/secplan/ant-generales.html>

- **ODEPA. (2009).** Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros. Santiago.
- **Palma Behnke, R., Vargas Díaz, L., & Brokering Christie, W. (2006).** Sistemas eléctricos de potencia. Santiago.
- **SII. (2002).** Servicio de impuestos internos. Obtenido de Tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado: http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/bienes_f.htm
- **Vinilit. (2015).** TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE PVC (Policloruro de vinilo). Obtenido de http://www.vinilit.cl/assets/documentos/biblioteca_tecnica/4.pdf

ANEXO 1: Longitudes equivalentes a pérdidas singulares en metros

DIAMETRO D mm pulg.	Longitudes equivalentes a pérdidas locales. (expresadas en metros de tubería rectilínea)*																			
13	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6	
19	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4	
25	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2	
32	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0	
38	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8	
50	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4	
63	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1	
75	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7	
100	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9	
125	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1	
150	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3	
200	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0	
250	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0	
300	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0	
350	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0	

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

ANEXO 2: Selección de equipos para la planta de Biogás

a) Bombas para transporte del orujo



ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA DE IMPULSOR CERRADO AISI 304

Electrobomba centrífuga de impulsor cerrado particularmente adecuada para todas aquellas aplicaciones en maquinaria industrial especialmente en Equipos de Enfriamiento, Chillers, Aire Acondicionado y en general adecuada para todas aquellas necesidades de bombeo en aplicaciones industriales.

1



Modelo **DWC-N**
Rosca



Modelo **DWC-V**
Vitaulic



PRESTACIONES

- Presión máx. de trabajo: 0.8 Mpa (8 bar)
- Temperaturas del líquido vehiculado: -15° ~ 90°C
- Máx. contenido en sólidos en suspensión: 50 ppm
- Máx. contenido en cloro: 500 ppm.
- Tipo de fluidos a bombear: Líquidos moderadamente agresivos, soluciones glicoladas y agua limpia.

MATERIALES

- Cuerpo de bomba, impulsor y base portacierre: AISI 304
- Eje: AISI 304 (sólo parte en contacto con el líquido).
- Soporte y carcasa de motor: Aluminio.
- Cierre mecánico: Carbón / Cerámica / EPDM
- Bajo pedido se puede instalar otros tipos de C. Mecánico.

DATOS TÉCNICOS

- Motor trifásico eficiencia **IE2** a partir de 0,75 kW.
- Cuerpo de la bomba diseñado con semi voluta para lograr un mayor rendimiento hidráulico.
- Motor asincrónico, 2 polos y ventilación forzada.
- Aislamiento Clase F (IEC 34-1)
- Protección IP55
- Trifásica 230/400V ± 10% 50 Hz

CONEXIONES

- DNA: DWC-N G2"
DWC-V Vitaulic Ø 2" (60,3 mm)
- DNI: DWC-N G2"
DWC-V Vitaulic Ø 2" (60,3 mm)

Modelo de bomba	código	Potencia		Tensión	P.V.P.
		kW	CV		€
DWC-N 300/1.1	2181070004E	1,1	1,5	TRIF.	622
DWC-V 300/1.1(*)	2180070004E	1,1	1,5	TRIF.	628
DWC-N 300/1.5	2181080004E	1,5	2	TRIF.	758
DWC-V 300/1.5(*)	2180080004E	1,5	2	TRIF.	767
DWC-N 500/1.5	2191080004E	1,5	2	TRIF.	801
DWC-V 500/1.5(*)	2190080004E	1,5	2	TRIF.	809
DWC-N 500/2.2	2191100004E	2,2	3	TRIF.	886
DWC-V 500/2.2(*)	2190100004E	2,2	3	TRIF.	891
DWC-N 500/3.0	2191110004E	3	4	TRIF.	941
DWC-V 500/3.0(*)	2190110004E	3	4	TRIF.	951

Para la bomba del tramo 1:

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo Trifásica 230/400V 50Hz	kW	CV	Int. absorbida (A)		vmin m³/h	Q=Caudal												
			Trifásica			H=Altura manométrica total (m)												
			230V	400V		0	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	750	
DWC 300/1.1	1,1	1,5	4,3	2,5	21,0	19,2	18,1	16,6	15,0	13,1	11,0	8,5	-	-	-	-		
DWC 300/1.5	1,5	2	5,5	3,2	24,5	22,5	21,4	20,1	18,5	16,7	14,6	12,0	-	-	-	-		
DWC 500/1.5	1,5	2	5,9	3,4	18,5	-	-	17,0	16,4	15,7	14,9	14,0	12,0	9,8	7,4	6,2		
DWC 500/2.2	2,2	3	8,3	4,8	24,5	-	-	23,0	22,3	21,5	20,7	19,8	17,8	15,5	13,0	11,5		
DWC 500/3.0	3	4	9,7	5,6	26,3	-	-	25,0	24,4	23,7	22,9	22,0	20,0	17,6	15,0	13,6		

Precio: 622 EUR

Para la bomba del tramo 2:

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo Trifásica 230/400V 50Hz	kW	CV	Int. absorbida (A)		vmin m ³ /h	Q=Caudal												
			Trifásica			H=Altura manométrica total (m)												
			230V	400V		0	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	750	
DWC 300/1.1	1,1	1,5	4,3	2,5	21,0	19,2	18,1	16,6	15,0	13,1	11,0	8,5	-	-	-	-		
DWC 300/1,5	1,5	2	5,5	3,2	24,5	22,5	21,4	20,1	18,5	16,7	14,6	12,0	-	-	-	-		
DWC 500/1,5	1,5	2	5,9	3,4	18,5	-	-	17,0	16,4	15,7	14,9	14,0	12,0	9,8	7,4	6,2		
DWC 500/2,2	2,2	3	8,3	4,8	24,5	-	-	23,0	22,3	21,5	20,7	19,8	17,8	15,5	13,0	11,5		
DWC 500/3,0	3	4	9,7	5,6	26,3	-	-	25,0	24,4	23,7	22,9	22,0	20,0	17,6	15,0	13,6		

Precio: 801 EUR

b) Selección de agitadores para estanques

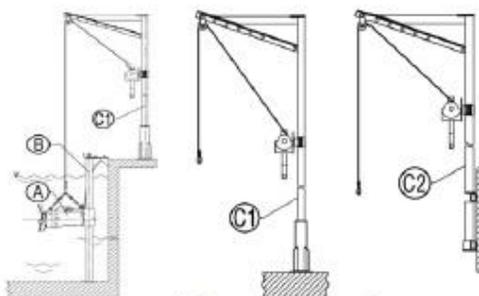


A

XM- AISI 316

Modelo	Código	Pot. rotor P1 (kW)	Voltaje	Pot. nom. motor P2 (kW)	Intensidad Cable (A)	Peso	P.V.P. €
XM17A472T1-6V2LA4		0,6	3ph 400V	0,7	4G2,5	1,5	20
XM18B471T1-6T6LA4		1,2	3ph 400V	1,4	4G2,5	2,7	30
XM19B409T1-6T6LA4	6241346233	1,7	3ph 400V	2,3	4G2,5	4,4	46
XM30A609T1-6T6LA4*	6241346243	2,0	3ph 400V	2,3	4G2,5	5,0	50
XM30B610R1-6T6LA5*	6241346205	2,5	3ph 400/690V	3,2	12G1,5	6,9	65
XM37B810R1-6T6LA5	6241346215	1,6	3ph 400/690V	2,0	12G1,5	5,1	68
XM40B813R1-6T6LA5	6241346225	2,2	3ph 400/690V	2,5	12G2,5	6,2	114
XM40B813R2-6T6LA5	6241346235	3,3	3ph 400/690V	3,7	12G2,5	8,9	114
XM40B813R3-6T6SA5	6241346245	4,3	3ph 400/690V	5,2	12G2,5	12,1	125
XM60B1216R1-6T1LA5	6241346255	5,1	3ph 400/690V	7,5	12G2,5	18,6	245
XM60B1216R2-6T1LA5	6241346265	7	3ph 400/690V	7,5	12G2,5	18,6	245
XM60B1216R3-6T1LA5	6241346275	9,7	3ph 400/690V	12	12G2,5	28,4	245
XM60B1016R3-6C1LA5	6241346285	9,8	3ph 400/690V	12	12G2,5	26,5	280

* Modelos disponibles en versión ATEX, consultar.



B	C1	C2
Carril guía	S. elevación suelo	S. elevación muro
P.V.P. €	P.V.P. €	P.V.P. €
PG60L6-OF304	3.577	TSP150-304
PG60L6-OF316	5.723	5.547
		TSM150-304
		5.240
PG100L6-OF304	4.596	TSP300-304
PG100L6-OF316	7.325	8.054
		TSM300-304
		7.847

Modelos con campana difusora, consultar.

- Para el estanque de homogenización se utilizara el “XM19B409T1-6T6LA4” con carril guía:

Valor: 12.619 EUR

- Para el estanque preparador de mezcla y el biodigestor se utilizara el modelo “XM19B409T1-6T6LA4*”

Valor: 18.810 EUR

c) Selección de cogenerador (Biogás)



	OEKO 45 BG	OEKO 60 BG	OEKO 80 BG	OEKO 100 BG	OEKO 115 BG	OEKO 170 BG
Salida continua						
Eléctrico kW	45	58	80	100	115	170
Térmico kW	72	82	107	127	181	207
Energía entrada kW	135	168	217	270	335	450
Tipo de motor	MAN E 0834 LE302	MAN E 0836 E312	MAN E 0836 LE202	MAN E 0836 LE202	MAN E 2876 TE302	MAN E 2876 LE302
Cilindros	4	6	6	6	6	6
Cilindrada	4580 cm ³	6870 cm ³	6870 cm ³	6870 cm ³	12820 cm ³	12820 cm ³
Eficiencia						
Generador (%) cos phi = 1	92,7	93,2	95,0	95,0	95,0	95,7
Eléctrico (%)	33,3	35,7	36,9	37,0	34,3	37,8
Térmico (%)	53,3	48,8	49,3	47,0	51,9	46,0
Total (%)	86,6	84,5	86,2	84,0	86,2	83,8
Temperaturas						
Salida máx °C	85	85	85	85	85	85
Entrada máx °C	70	70	70	70	70	70
Gases escape °C	180	180	180	180	180	180
Dimensiones						
L x Al x An (m)	1,8 x 1,0 x 1,7	2,0 x 1,0 x 1,7	2,2 x 1,0 x 1,7	2,2 x 1,0 x 1,7	3,2 x 1,1 x 1,7	3,3 x 1,1 x 1,7
	PDF	PDF	PDF	PDF	PDF	PDF

- **Diámetros de entrada y salida del agua: DN 65**
- **Diámetro entrada biogás: DN 65**
- **Diámetro salida gases: DN 150**

Valor: 77.105 USD

d) Selección de bomba para la línea de calor



ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA DE IMPULSOR ABIERTO AISI 304

1 **Electrobomba centrífuga de impulsor abierto particularmente adecuada para el lavado de verduras, carnes, pescados, moluscos y similares. Equipos de lavado industriales, cabinas de pintura, equipos y sistemas de riego. En general para todo tipo de aplicaciones en las que se necesite bombear líquidos cargados, incluso con pequeños sólidos en suspensión.**



PRESTACIONES

- Presión máx. de trabajo: 8 bar.
- Temperatura máx. del líquido vehiculado: 80°C
- Máx. paso de sólidos 19 mm.

MATERIALES

- Cuerpo de bomba, impulsor y base portacierre: AISI 304
- Eje: AISI 304 (sólo parte en contacto con el líquido).
- Soporte y carcasa de motor: Aluminio.
- Cierre mecánico: Carbón / Cerámica / NBR
- Bajo pedido se puede instalar otros tipos de C. Mecánico.

DATOS TÉCNICOS

- Motor trifásico eficiencia **IE2** a partir de 0,75 kW.
- Asíncrono, 2 polos y ventilación forzada.
- Aislamiento Clase F
- Protección IP55
- Monofásica 230V ± 10% 50 Hz
- Trifásica 230/400V ± 10% 50 Hz
- Condensador y protección termoamperimétrica de rearme automático incorporados (monofásica)

CONEXIONES

- DNA: 2 1/2" para DWO 300-400
- 2" para el resto de la gama
- DNI: 2"

Modelo de bomba	código	Potencia		Tensión	P.V.P.
		kW	CV		€
DWO 150 M	1579070000A	1,1	1,5	MONOF.	673
DWO 150	1579070004E	1,1	1,5	TRIF.	689
DWO 200 M	1579080000	1,5	2	MONOF.	699
DWO 200	1579080004E	1,5	2	TRIF.	718
DWO 300	1579100004E	2,2	3	TRIF.	825
DWO 400	1579110004E	3	4	TRIF.	929

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Modelo		kW	CV	Condensador		Intensidad absorbida (A)			l/min m³/h	Q=Caudal							
Monofásica 230V 50Hz	Trifásica 230/400V 50Hz			µF	Vc	Mono- fásica	Trifásica 230V	Trifásica 400V		100	200	300	400	550	750	950	1100
DWO 150 M	DWO 150	1,1	1,5	31,5	450	6,8	4,4	2,5	9,5	8,9	7,9	6,9	5,1	-	-		
DWO 200 M	DWO 200	1,5	2	40	450	9,0	6,1	3,5	12,7	12,3	11,5	10,5	8,6	5,8	-		
-	DWO 300	2,2	3	-	-	-	8,3	4,8	15	14,5	13,8	12,9	11,7	9,7	7,5		
-	DWO 400	3	4	-	-	-	11,0	6,4	17,5	16,9	16,3	15,6	14,3	12,4	9,8		

H=Altura manométrica total (m)

Valor: 825 EUR

e) Estanque para almacenamiento del biogás.



Se utilizara un estanque de 10.000 litros para el almacenamiento del biogás producido.

Valor: \$ 9.542.950

f) Compresor de biogás

BVG EEx (NG), Versión EEx / indoor/outdoor

Acoplamiento directo, velocidad constante, antideflagrante, apta para gas natural

El gas natural es una de las principales fuentes utilizadas para la producción de energía eléctrica en múltiples tipos de centrales eléctricas.

El gas natural se produce generalmente mediante la descomposición anaeróbica de material orgánico. Muy similar al BIOGÁS, comprimido y oportunamente tratado, puede ser utilizado en numerosas aplicaciones.

Con su gama de compresores para GAS NATURAL, Adicomp satisface las exigencias de todas las aplicaciones que requieren presiones de uso de 3+15 bar y caudales de hasta 2500 Nm³/h.

Desarrollada en plataforma o en cabina, para instalaciones exteriores con temperaturas ambiente de -30 °C a +45 °C, esta gama tiene un diseño innovador que facilita las operaciones de mantenimiento y puesta en marcha en la obra.

Adicomp desarrolla y produce estaciones de compresión y tratamiento personalizadas, utilizando componentes específicos aptos para el gas natural.



Compresor de presión máxima 15 bar.

Valor: \$ 7.242.000

g) Tuberías de acero inoxidable AISI 316

Diámetro Nominal (*)	Diámetro Exterior	SCH 10		SCH 40		SCH 80	
		Espesor de Pared	Peso Teórico	Espesor de Pared	Peso Teórico	Espesor de Pared	Peso Teórico
Pulgadas	mm	mm	Kg x mt	mm	Kg x mt	mm	Kg x mt
½"	10.28	1.24	1.27	1.73	0.36	2.41	0.47
¾"	13.70	1.65	1.68	2.20	0.63	3.02	0.80
1"	17.14	1.65	2.50	2.31	0.84	3.20	1.10
1 ¼"	21.30	2.11	3.38	2.77	1.27	3.71	1.62
1 ½"	26.67	2.11	4.05	2.87	1.68	3.91	2.19
2"	33.40	2.77	5.43	3.38	2.50	4.55	3.23
2 ¼"	42.20	2.77	8.62	3.56	3.38	4.85	4.46
2 ½"	48.30	2.77	11.28	3.68	4.05	5.08	5.40
3"	60.30	2.77	13.56	3.91	5.44	5.54	4.47
3 ½"	73.02	3.05	16.06	5.16	8.62	7.01	11.40
4"	88.90	3.05	21.76	5.49	11.27	7.62	15.25
4 ½"	101.60	3.05	28.23	5.74	13.56	8.08	18.60
5"	114.30	3.05	42.49	6.02	16.06	8.56	22.29
5 ½"	141.30	3.40	60.23	6.55	21.76	9.55	31.44
6"	168.30	3.40	79.70	7.11	28.23	10.97	45.52
8"	219.07	3.76	94.20	8.18	42.49	12.70	64.58
10"	273.05	4.19	79.70	9.27	60.24	12.70	81.47
12"	323.85	4.57	94.20	9.53	74.97	12.70	97.36

(*) El diámetro nominal de la cañería no coincide con el diámetro interno ni externo.

Tubería de 1 ¼" valor tira de 6 m: \$108.630

Tubería de 2 ½" valor tira de 6 m: \$273.241

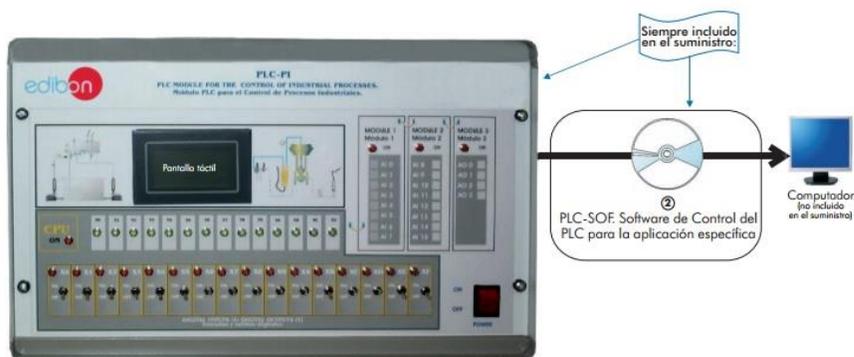
ANEXO 3: Elementos de control

a) Módulo de plc para procesos industriales



Módulo PLC para el Control de Procesos Industriales (para trabajar con Equipos Didácticos Computerizados de EDIBON)

PLC-PI



① Equipo: PLC-PI. Módulo PLC para el Control de Procesos Industriales

ESPECIFICACIONES

Items incluidos en el suministro estándar

① Equipo PLC-PI:

Caja metálica.

Diagrama del circuito en el panel frontal.

Panel frontal:

Bloque de entradas digitales (X) y salidas digitales (Y):

16 entradas digitales, activadas por interruptores y 16 LEDs de confirmación (rojos).

14 salidas digitales (a través de conector SCSI) con 14 LEDs de aviso (verdes).

Bloque de entradas analógicas:

16 entradas analógicas (-10V. a + 10V.) (a través de conector SCSI).

Bloque de salidas analógicas:

4 salidas analógicas (-10V. a + 10V) (a través de conector SCSI).

Pantalla táctil:

Dimensiones aprox.: 110 mm x 72 mm. Alta visibilidad y múltiples funciones. Pantalla de estado de alta visibilidad.

Funciones de recetas, display gráfico y mensajes desplazables. Listado de alarmas. Función multilingüaje. Fuentes True type.

Panel trasero:

Conector de suministro eléctrico. Fusible de 2A. Conector RS-232 a Computador (PC).

Interior:

Salidas: 24 Vcc, 12 Vcc, -12 Vcc, 12 Vcc variable.

PLC Panasonic:

Alta velocidad de procesos de 0,32 μ s. por instrucción básica.

Capacidad de programa de 32 K pasos.

Entrada CC: 16 (24 V CC).

Salida relé: 14 (250 VA AC/2 A).

Equipado con un puerto de comunicaciones USB.

Contador de alta velocidad.

Control PID multi-punto.

Módulos Panasonic de entradas/salidas digitales y entradas/salidas analógicas.

Cable de comunicación RS232 a computador (PC).

② PLC-SOF. Software de Control PLC:

Para cada Equipo Didáctico Computerizado de EDIBON en particular.

③ Cables y Accesorios, para un funcionamiento normal.

④ Manuales:

Este equipo se suministra con 8 manuales: Servicios Requeridos, Montaje e Instalación, Software, Puesta en marcha, Seguridad, Mantenimiento, Calibración & manual de Prácticas.

Valor: \$ 1.154.605

b) Reguladores de nivel para estanques

5



Reguladores de nivel Aguas limpias		P.V.P. €
Código		
Cable 3 m.	622CC9000011	21
Cable 5 m.	622CC9000012	25

Reguladores de nivel Aguas sucias		P.V.P. €
Código		
SUPERTEC 10 m.	622CC90000204	77
TAURUS 02 10 m.	622CC90000201	94

Reguladores de nivel Antideflagrantes		P.V.P. €
Código		
ATEX 10 m.	622CC90000202	336

Valor: \$ 118.580 Dos unidades

c) Contador volumétrico para líneas de transporte del orujo

CONTADOR VOLUMÉTRICO METÁLICO BRIDA (TECNIDRO)

Codigo	PN(bar)	Diámetro	Precio \$
5909009533	16	2"	241.815
5909009540	16	2 1/2"	257.203
5909009534	16	3"	272.591
5909009535	16	4"	322.053
5909009536	16	5"	395.697
5909009537	16	6"	483.629
5909009510	10	8"	626.520
5909009538	16	8"	626.520
5909009550	16	10"	883.722
5909009203	16	12"	1.166.206

d) válvula eléctrica plástica

VÁLVULA ELÉCTRICA PLÁSTICA HI (TECNIDRO)

Codigo	PN(bar)	Diámetro	Paso	Precio \$
5909009528	10	1"	Normal	29.677
5909009529	10	1 1/2"	Normal	87.933
5909009530	10	2"	Normal	92.329
5909009531	10	3"	Reducido	128.601
5909009532	10	3"	Amplio	257.203

e) Transductor de pH y electrodo



Transductor de pH HI 8614N



Transductor de pH HI 8614N

- Salida analógica 4 ... 20 mA
- Transmisor de 2 hilos
- Alimentación: 18 ... 30 V

- Rango de medición: -2 ... 16 pH
- Tipo de protección IP 65
- Conexión directa de los electrodos de pH

Especificaciones técnicas

Rango de medición	-2,00 ... 16,00 pH
Precisión	±0,02 pH / ±0,02 mA
Resistencia de entrada	10 ¹² Ω
Entrada analógica	4-20 mA, RL ≤500 Ω
Calibración	Cero absoluto: ±2,2 mA, ±2 pH Transconductancia: ±0,5 mA, 86 a 116 %
Compensación de temperatura	fija o automática con HI 76608
Tipo de protección	IP 65
Temperatura ambiental	0 ... +50 °C
Humedad del aire	< 95% H.r. (sin condensación)
Dimensiones	165 x 110 x 90 mm
Peso	1 kg
Tensión de alimentación	18 ... 30 V DC

Valor: \$438.103

f) Transductor de temperatura y termómetro



- Transductor para sensores Pt100
- Instalación en cabezales de aluminio y acero inoxidable
- Alimentación por bucle de 4 a 20 mA
- Alta precisión

- Cable interfaz y software opcional
- Rango de medición hasta 650 °C
- Apto para todos los sensores de resistencia WTR
- Alimentación universal hasta 35 V

Especificaciones técnicas

Carcasa

Plástico PC
 Diámetro: 44 mm x altura: 22,5 mm
 Orificio central de 7 mm
 Sujeción 2 tornillos M4 para carcasa DIN B

Entrada

Pt100 de 2, 3 o 4 hilos

Salida

4 ... 20 mA
 Carga máxima 21 mA
 Carga mínima 3,5 mA

Rango de medición

-200 ... 650 °C

Intervalo

min. 10 K

Precisión

$\leq \pm 0,1$ % del valor final

Temperatura operativa

-40 ... 85 °C

Conexión eléctrica

terminal de tornillo 1,5 mm²

Alimentación

10 ... 35 V DC
 Tensión residual máx. ± 5 %

Valor: \$ 233.098

ANEXO 4: Flujos de caja

a) Escenario pesimista

Items/años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ingresos										
Ahorro de energía eléctrica		45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036
Venta de energía		8.325.429	8.158.920	7.992.412	7.825.903	7.659.394	7.492.886	7.326.377	7.159.869	6.993.360
Venta de potencia eléctrica		7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819
Venta de CER		2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049
Total ingresos		63.657.333	63.490.824	63.324.316	63.157.807	62.991.299	62.824.790	62.658.281	62.491.773	62.325.264
Costos										
Operación y mantenimiento	-	18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822
Inversión en intangibles	-	2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478
Total costos	-	20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299
Interés por préstamo										
Depreciación (-)	-	8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779
Utilidad antes del impuesto		34.904.254	34.737.746	34.571.237	34.404.729	34.238.220	34.071.711	33.905.203	33.738.694	33.572.186
Impuesto a la renta (19%)	-	6.631.808	- 6.600.172	- 6.568.535	- 6.536.898	- 6.505.262	- 6.473.625	- 6.441.989	- 6.410.352	- 6.378.715
Utilidad después del impuesto		28.272.446	28.137.574	28.002.702	27.867.830	27.732.958	27.598.086	27.463.214	27.328.342	27.193.470
Depreciación (+)		8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779
Inversión estimada										
Biodigestores	-	199.832.157								
Motor cogenerador	-	52.431.225								
Instalación	-	59.949.647								
Ingeniería	-	29.974.823								
Puesta en marcha	-	29.974.823								
Obras civiles	-	19.983.216								
Equipos eléctricos y piping	-	29.974.823								
Contingencia	-	29.974.823								
Total inversión	-	452.095.538								
Prestamo al banco (+)										
Subsidio por uso de ERNC										
Amortización deuda (-)										
Valor residual (+)										
Flujo caja neto	-	452.095.538	36.681.225	36.546.353	36.411.481	36.276.610	36.141.738	36.006.866	35.871.994	35.737.122

b) Escenario conservador

Ítems/años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ingresos										
Ahorro de energía eléctrica		45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036
Venta de energía		8.325.429	8.408.683	8.491.937	8.575.192	8.658.446	8.741.700	8.824.955	8.908.209	8.991.463
Venta de potencia eléctrica		7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819
Venta de CER		2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049
Total ingresos		63.657.333	63.740.587	63.823.841	63.907.096	63.990.350	64.073.604	64.156.859	64.240.113	64.323.367
Costos										
Operación y mantenimiento		- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822
Inversión en intangibles		- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478
Total costos		- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299
Interés por préstamo										
Depreciación (-)		- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779
Utilidad antes del impuesto		34.904.254	34.987.509	35.070.763	35.154.017	35.237.271	35.320.526	35.403.780	35.487.034	35.570.289
Impuesto a la renta (19%)		- 6.631.808	- 6.647.627	- 6.663.445	- 6.679.263	- 6.695.082	- 6.710.900	- 6.726.718	- 6.742.537	- 6.758.355
Utilidad después del impuesto		28.272.446	28.339.882	28.407.318	28.474.754	28.542.190	28.609.626	28.677.062	28.744.498	28.811.934
Depreciación (+)		8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779
Inversión estimada										
Biodigestores	-	199.832.157								
Motor cogenerador	-	52.431.225								
Instalación	-	59.949.647								
Ingeniería	-	29.974.823								
Puesta en marcha	-	29.974.823								
Obras civiles	-	19.983.216								
Equipos eléctricos y piping	-	29.974.823								
Contingencia	-	29.974.823								
Total inversión	-	452.095.538								
Préstamo al banco (+)										
Subsidio por uso de ERNC										
Amortización deuda (-)										
Valor residual (+)										
Flujo caja neto	-	452.095.538	36.681.225	36.748.661	36.816.097	36.883.533	36.950.969	37.018.405	37.085.841	37.153.277

c) Escenario optimista

Ítems/años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ingresos										
Ahorro de energía eléctrica		45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036	45.060.036
Venta de energía		8.325.429	8.491.937	8.658.446	8.824.955	8.991.463	9.157.972	9.324.480	9.490.989	9.657.497
Venta de potencia eléctrica		7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819	7.946.819
Venta de CER		2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049	2.325.049
Total ingresos		63.657.333	63.823.841	63.990.350	64.156.859	64.323.367	64.489.876	64.656.384	64.822.893	64.989.401
Costos										
Operación y mantenimiento		- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822	- 18.083.822
Inversión en intangibles		- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478	- 2.260.478
Total costos		- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299	- 20.344.299
Interés por préstamo										
Depreciación (-)		- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779	- 8.408.779
Utilidad antes del impuesto		34.904.254	35.070.763	35.237.271	35.403.780	35.570.289	35.736.797	35.903.306	36.069.814	36.236.323
Impuesto a la renta (19%)		- 6.631.808	- 6.663.445	- 6.695.082	- 6.726.718	- 6.758.355	- 6.789.991	- 6.821.628	- 6.853.265	- 6.884.901
Utilidad después del impuesto		28.272.446	28.407.318	28.542.190	28.677.062	28.811.934	28.946.806	29.081.678	29.216.550	29.351.422
Depreciación (+)		8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779	8.408.779
Inversión estimada										
Biodigestores	-	199.832.157								
Motor cogenerador	-	52.431.225								
Instalación	-	59.949.647								
Ingeniería	-	29.974.823								
Puesta en marcha	-	29.974.823								
Obras civiles	-	19.983.216								
Equipos eléctricos y piping	-	29.974.823								
Contingencia	-	29.974.823								
Total inversión	-	452.095.538								
Préstamo al banco (+)										
Subsidio por uso de ERNC										
Amortización deuda (-)										
Valor residual (+)										
Flujo caja neto	-	452.095.538	36.681.225	36.816.097	36.950.969	37.085.841	37.220.713	37.355.585	37.490.457	37.625.329

Anexo 5: Propiedades del agua en estado de saturación

PROPIEDADES FÍSICAS AGUA EN ESTADO DE SATURACION

Temp. t (°C)	Presión bar	Densidad ρ _l [kg/m³]	Densidad ρ _v [kg/m³]	Calor específico c _p [(kJ/kg K)]	Calor específico c _v [(kJ/kg K)]	Calor específico c _p [(kJ/kg K)]	Cond. Térmica k _l [W/mK]	Cond. Térmica k _v [W/mK]	Visco. dinámica μ _l [mPa·s]	Visco. dinámica μ _v [mPa·s]	Nº Prandtl Pr _l	Nº Prandtl Pr _v	Difusividad Térmica α _l [m²/s]	Difusividad Térmica α _v [m²/s]	Coef. Dilatación β _l [1/K]	Coef. Dilatación β _v [1/K]	Tens. Superf. σ [N/m]	Coef. Laplace β [m]	Calor vap. h _{fg} [kJ/kg]
0	0,005	1000,0	0,005	4,220	1,884	0,551	1,71E-02	1,79E-06	1,90E-03	1,33E-07	13,48	1,017	1,33E-07	1,87E-03	-6,82E-05	3,68E-03	7,57E-02	2,78E-03	2,501
2	0,007	1000,0	0,005	4,214	1,886	0,555	1,72E-02	1,67E-06	1,87E-03	1,34E-07	12,49	1,017	1,34E-07	1,84E-03	-3,29E-05	3,66E-03	7,54E-02	2,77E-03	2,496
4	0,008	1000,0	0,006	4,208	1,888	0,559	1,74E-02	1,57E-06	1,84E-03	1,37E-07	11,60	1,017	1,37E-07	1,81E-03	1,98E-05	3,63E-03	7,51E-02	2,76E-03	2,491
6	0,009	1000,0	0,007	4,203	1,890	0,572	1,74E-02	1,47E-06	1,81E-03	1,39E-07	10,81	1,017	1,39E-07	1,78E-03	3,10E-05	3,61E-03	7,48E-02	2,76E-03	2,487
8	0,011	1000,0	0,008	4,199	1,893	0,576	1,75E-02	1,38E-06	1,78E-03	1,41E-07	10,09	1,017	1,41E-07	1,75E-03	5,01E-05	3,58E-03	7,45E-02	2,75E-03	2,482
10	0,012	999,7	0,009	4,195	1,895	0,580	1,76E-02	1,31E-06	1,75E-03	1,43E-07	9,45	1,017	1,43E-07	1,72E-03	6,77E-05	3,55E-03	7,42E-02	2,75E-03	2,477
12	0,014	999,4	0,011	4,193	1,897	0,584	1,77E-02	1,24E-06	1,72E-03	1,45E-07	8,86	1,017	1,45E-07	1,69E-03	8,41E-05	3,52E-03	7,39E-02	2,75E-03	2,472
14	0,016	999,2	0,012	4,190	1,899	0,588	1,78E-02	1,17E-06	1,69E-03	1,47E-07	8,33	1,017	1,47E-07	1,66E-03	1,00E-04	3,51E-03	7,36E-02	2,74E-03	2,468
16	0,018	998,9	0,014	4,188	1,901	0,591	1,80E-02	1,11E-06	1,66E-03	1,49E-07	7,85	1,017	1,49E-07	1,63E-03	1,12E-04	3,49E-03	7,33E-02	2,74E-03	2,463
18	0,021	998,5	0,015	4,186	1,904	0,595	1,81E-02	1,05E-06	1,63E-03	1,51E-07	7,41	1,017	1,51E-07	1,60E-03	1,25E-04	3,47E-03	7,30E-02	2,73E-03	2,458
20	0,023	998,2	0,017	4,184	1,906	0,598	1,82E-02	1,00E-06	1,60E-03	1,53E-07	7,00	1,017	1,53E-07	1,57E-03	1,39E-04	3,45E-03	7,27E-02	2,73E-03	2,454
22	0,026	997,7	0,019	4,183	1,908	0,602	1,84E-02	9,57E-07	1,57E-03	1,55E-07	6,63	1,017	1,55E-07	1,54E-03	1,53E-04	3,43E-03	7,24E-02	2,72E-03	2,449
24	0,030	997,3	0,024	4,182	1,911	0,605	1,85E-02	9,13E-07	1,54E-03	1,57E-07	6,29	1,017	1,57E-07	1,51E-03	1,68E-04	3,41E-03	7,21E-02	2,72E-03	2,444
26	0,034	996,7	0,024	4,181	1,913	0,609	1,86E-02	8,73E-07	1,51E-03	1,59E-07	5,99	1,017	1,59E-07	1,48E-03	1,82E-04	3,38E-03	7,18E-02	2,71E-03	2,439
28	0,038	996,2	0,027	4,181	1,915	0,612	1,88E-02	8,36E-07	1,48E-03	1,61E-07	5,69	1,017	1,61E-07	1,45E-03	1,96E-04	3,36E-03	7,15E-02	2,71E-03	2,435
30	0,042	995,6	0,030	4,180	1,918	0,616	1,89E-02	8,01E-07	1,45E-03	1,63E-07	5,42	1,017	1,63E-07	1,42E-03	2,10E-04	3,33E-03	7,12E-02	2,70E-03	2,430
32	0,048	995,0	0,034	4,180	1,921	0,619	1,90E-02	7,68E-07	1,42E-03	1,65E-07	5,17	1,016	1,65E-07	1,39E-03	2,24E-04	3,31E-03	7,09E-02	2,70E-03	2,425
34	0,053	994,3	0,038	4,180	1,923	0,623	1,92E-02	7,38E-07	1,39E-03	1,67E-07	4,93	1,016	1,67E-07	1,36E-03	2,38E-04	3,29E-03	7,06E-02	2,69E-03	2,420
36	0,059	993,6	0,042	4,180	1,926	0,626	1,93E-02	7,10E-07	1,36E-03	1,69E-07	4,72	1,016	1,69E-07	1,33E-03	2,52E-04	3,27E-03	7,02E-02	2,69E-03	2,416
38	0,066	992,9	0,046	4,180	1,929	0,628	1,94E-02	6,83E-07	1,33E-03	1,71E-07	4,52	1,016	1,71E-07	1,30E-03	2,66E-04	3,25E-03	6,99E-02	2,68E-03	2,411
40	0,074	992,2	0,051	4,180	1,931	0,631	1,95E-02	6,58E-07	1,30E-03	1,73E-07	4,33	1,016	1,73E-07	1,27E-03	2,80E-04	3,23E-03	6,96E-02	2,68E-03	2,406
42	0,082	991,4	0,057	4,180	1,934	0,633	1,96E-02	6,35E-07	1,28E-03	1,75E-07	4,15	1,016	1,75E-07	1,24E-03	2,94E-04	3,21E-03	6,93E-02	2,67E-03	2,401
44	0,091	990,6	0,062	4,180	1,937	0,636	1,97E-02	6,13E-07	1,26E-03	1,77E-07	3,99	1,015	1,77E-07	1,21E-03	3,08E-04	3,19E-03	6,89E-02	2,66E-03	2,396
46	0,101	989,7	0,069	4,181	1,940	0,639	1,98E-02	5,92E-07	1,24E-03	1,79E-07	3,83	1,015	1,79E-07	1,18E-03	3,22E-04	3,17E-03	6,85E-02	2,66E-03	2,392
48	0,112	988,9	0,076	4,181	1,944	0,641	2,00E-02	5,73E-07	1,22E-03	1,81E-07	3,69	1,015	1,81E-07	1,15E-03	3,36E-04	3,15E-03	6,81E-02	2,65E-03	2,387
50	0,124	988,0	0,083	4,182	1,947	0,644	2,04E-02	5,54E-07	1,20E-03	1,83E-07	3,55	1,015	1,83E-07	1,12E-03	3,50E-04	3,13E-03	6,77E-02	2,65E-03	2,382
52	0,136	987,1	0,091	4,182	1,950	0,646	2,08E-02	5,35E-07	1,17E-03	1,85E-07	3,43	1,015	1,85E-07	1,10E-03	3,64E-04	3,11E-03	6,73E-02	2,64E-03	2,377
54	0,150	986,1	0,100	4,183	1,954	0,648	2,07E-02	5,19E-07	1,15E-03	1,87E-07	3,31	1,014	1,87E-07	1,08E-03	3,78E-04	3,14E-03	6,73E-02	2,64E-03	2,372
56	0,165	985,2	0,109	4,184	1,957	0,650	2,09E-02	5,04E-07	1,13E-03	1,89E-07	3,19	1,014	1,89E-07	1,06E-03	3,92E-04	3,12E-03	6,69E-02	2,63E-03	2,367
58	0,182	984,3	0,120	4,184	1,961	0,652	2,10E-02	4,89E-07	1,10E-03	1,91E-07	3,08	1,014	1,91E-07	1,04E-03	4,06E-04	3,11E-03	6,65E-02	2,63E-03	2,363
60	0,200	983,2	0,130	4,185	1,965	0,654	2,12E-02	4,74E-07	1,08E-03	1,93E-07	2,98	1,014	1,93E-07	1,02E-03	4,20E-04	3,10E-03	6,61E-02	2,63E-03	2,358
62	0,219	982,1	0,142	4,186	1,969	0,656	2,14E-02	4,61E-07	1,06E-03	1,95E-07	2,89	1,014	1,95E-07	1,00E-03	4,34E-04	3,08E-03	6,59E-02	2,62E-03	2,353
64	0,239	981,1	0,155	4,187	1,973	0,658	2,15E-02	4,48E-07	1,04E-03	1,97E-07	2,80	1,014	1,97E-07	9,85E-04	4,48E-04	3,07E-03	6,55E-02	2,61E-03	2,348
66	0,262	980,0	0,168	4,188	1,977	0,660	2,17E-02	4,36E-07	1,02E-03	1,99E-07	2,71	1,014	1,99E-07	9,70E-04	4,62E-04	3,06E-03	6,52E-02	2,61E-03	2,343
68	0,286	978,9	0,183	4,189	1,982	0,662	2,19E-02	4,24E-07	1,01E-03	2,01E-07	2,63	1,014	2,01E-07	9,55E-04	4,76E-04	3,04E-03	6,49E-02	2,60E-03	2,338
70	0,312	977,7	0,198	4,190	1,986	0,663	2,21E-02	4,13E-07	9,98E-04	2,03E-07	2,55	1,013	2,03E-07	9,40E-04	4,90E-04	3,02E-03	6,45E-02	2,59E-03	2,333
72	0,340	976,6	0,215	4,191	1,991	0,665	2,23E-02	4,03E-07	9,91E-04	2,05E-07	2,48	1,013	2,05E-07	9,25E-04	5,04E-04	3,02E-03	6,41E-02	2,59E-03	2,328
74	0,370	975,4	0,233	4,193	1,996	0,666	2,24E-02	3,92E-07	9,84E-04	2,07E-07	2,41	1,013	2,07E-07	9,10E-04	5,18E-04	3,01E-03	6,38E-02	2,58E-03	2,323
76	0,402	974,2	0,252	4,194	2,001	0,667	2,26E-02	3,82E-07	9,77E-04	2,09E-07	2,34	1,013	2,09E-07	8,95E-04	5,32E-04	3,00E-03	6,34E-02	2,58E-03	2,318
78	0,437	973,0	0,272	4,195	2,006	0,669	2,28E-02	3,72E-07	9,70E-04	2,11E-07	2,28	1,013	2,11E-07	8,80E-04	5,46E-04	2,99E-03	6,30E-02	2,57E-03	2,313
80	0,474	971,8	0,294	4,197	2,012	0,670	2,30E-02	3,63E-07	9,63E-04	2,13E-07	2,22	1,014	2,13E-07	8,65E-04	5,60E-04	2,98E-03	6,27E-02	2,57E-03	2,308
82	0,514	970,5	0,317	4,198	2,018	0,671	2,32E-02	3,55E-07	9,56E-04	2,15E-07	2,16	1,014	2,15E-07	8,50E-04	5,74E-04	2,97E-03	6,23E-02	2,56E-03	2,303
84	0,556	969,2	0,341	4,200	2,024	0,672	2,34E-02	3,48E-07	9,49E-04	2,17E-07	2,11	1,014	2,17E-07	8,35E-04	5,88E-04	2,96E-03	6,19E-02	2,55E-03	2,298
86	0,602	967,9	0,367	4,202	2,030	0,673	2,36E-02	3,40E-07	9,42E-04	2,19E-07	2,05	1,014	2,19E-07	8,20E-04	6,02E-04	2,95E-03	6,15E-02	2,55E-03	2,293
88	0,650	966,6	0,395	4,203	2,036	0,674	2,38E-02	3,33E-07	9,35E-04	2,21E-07	2,01	1,014	2,21E-07	8,05E-04	6,16E-04	2,94E-03	6,11E-02	2,54E-03	2,288
90	0,702	965,3	0,424	4,205	2,043	0,675	2,40E-02	3,26E-07	9,28E-04	2,23E-07	1,96	1,015	2,23E-07	7,90E-04	6,30E-04	2,93E-03	6,08E-02	2,54E-03	2,283
92	0,757	963,9	0,455	4,207	2,050	0,676	2,42E-02	3,19E-07	9,21E-04	2,25E-07	1,91	1,015	2,25E-07	7,75E-04	6,44E-04	2,92E-03	6,04E-02	2,53E-03	2,277
94	0,815	962,6	0,488	4,209	2,057	0,677	2,44E-02	3,12E-07	9,14E-04	2,27E-07	1,87	1,015	2,27E-07	7,60E-04	6,58E-04	2,91E-03	6,01E-02	2,52E-03	2,272
96	0,878	961,2	0,523	4,211	2,064	0,678	2,47E-02	3,05E-07	9,07E-04	2,29E-07	1,83	1,016	2,29E-07	7,45E-04	6,72E-04	2,90E-03	5,97E-02	2,52E-03	2,267
98	0,944	959,8	0,559	4,213	2,072	0,679	2,49E-02	3,00E-07	9,00E-04	2,31E-07	1,79	1,016	2,31E-07	7,30E-04	6,86E-04	2,89E-03	5,93E-02	2,51E-03	2,262
100	1,014	958,3	0,598	4,216	2,080	0,679	2,51E-02	2,94E-07	8,93E-04	2,33E-07	1,75	1,017	2,33E-07	7,15E-04	7,00E-04	2,88E-03			