
Producción de microalgas a partir de dióxido de carbono y aguas residuales obtenidos de la industria

Alumnos: Blamey, Pablo Fernando;
Haberhorn, Elida Mariela
Directores: Ing. Iturmendi, Facundo;
Dra. Bongiovani, Natalia Soledad

Universidad Nacional de Río Negro
Sede Alto Valle - Valle Medio
Escuela de Producción, Tecnología y Medio Ambiente
Ingeniería en Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO
Escuela de Producción Tecnología y Medio Ambiente



Proyecto Final

Producción de microalgas a partir de dióxido de carbono y aguas residuales obtenidos de la industria

Trabajo de graduación en modalidad de Proyecto Final de
producción presentado por
Pablo Blamey
Elida Haberkorn
Para optar al grado académico de Ingeniero en Biotecnología

Villa Regina, Río Negro, Marzo del 2023

Dirección del proyecto:

(f) _____
Ing. Facundo Iturmendi

(f) _____
Dra. Natalia Bongiovani

Tribunal Examinador:

(f) _____
Juan Ignacio Laiglecia

(f) _____
Paola Gabriela Scodelaro Bilbao

(f) _____
Paula Adrea Páez

(f) _____
Diego Fernando Rocha Parra

Jane Goodall

*No se puede pasar un solo día sin tener
un impacto en el mundo que nos rodea.
Lo que hacemos marca la diferencia,
y tenemos que decidir qué tipo de
diferencia queremos hacer.*

Agradecimientos

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias, que nos acompañaron durante todo el trayecto de la carrera, tanto animándonos en los momentos difíciles cómo celebrando los logros que fuimos alcanzando paso a paso.

A todas las personas que permanecieron a nuestro lado durante todo el período de estudio, incentivándonos a cumplir nuestros sueños y a no bajar los brazos con los pequeños tropiezos.

A nuestro Director y Co-Directora de proyecto. Ing. Facundo Iturmendi y Dra. Natalia Bongiovani, por su predisposición y entusiasmo desde el inicio de esta idea que, gracias a su apoyo incondicional, fue tomando forma hasta convertirse en nuestro Proyecto Final de Grado.

A todos los profesionales que aportaron de una u otra manera los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera y a su buena predisposición para ayudarnos a resolver nuestras inquietudes. Destacamos el apoyo brindado por el Dr. Mauricio Coletto en distintos aspectos del presente proyecto.

A Jugos S.A. por abrirnos las puertas de su empresa y brindarnos los datos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Resumen por Capítulos

El presente proyecto final consta de once capítulos, en el primer capítulo se describe la problemática actual de contaminación medioambiental de los gases de efecto invernaderos. Además, se hace referencia a la finalidad del proyecto y una breve introducción de microalgas.

El segundo capítulo describe la justificación del mismo, en la cual se incluyen: tecnologías para eliminar el dióxido de carbono, posibles tipos de microalgas a utilizar y legislaciones tanto provinciales, nacionales como internacionales aplicadas al proceso.

A lo largo del capítulo tres se detalla el estudio de mercado que abarca los distintos productos que se pueden obtener a partir del microorganismo propuesto: productos nutricionales, cosméticos, refinerías, entre otros. Además, se abordan las distintas entidades Rionegrinas que pueden aplicar esta tecnología para disminuir el impacto ambiental debido a la utilización de calderas en sus establecimientos.

En el capítulo cuatro se hace referencia a la materia prima necesaria para la puesta en marcha del fotobiorreactor y los proveedores de la misma, así como también, los recursos humanos necesarios, más específicamente el personal de laboratorio que se encargara de los análisis pertinentes.

Con el objetivo de fundamentar la elección del fotobiorreactor, así como también, de la microalga a utilizar, el capítulo cinco describe distintos tipos de reactores lumínicos y posibles microalgas a utilizar, poniendo en consideración los parámetros de cada una para elegir aquella que genera un crecimiento óptimo para la zona en donde se va a desarrollar el proyecto. Dentro del mismo, se realiza además una descripción del proceso que se llevara a cabo para la producción de microalgas en Jugos S.A.

En el capítulo seis se detalla el diseño de la planta propuesta, el cual incluye un fotobiorreactor tubular, un compresor, 34 bombas y un sistema de separación para obtener la biomasa con la mínima cantidad de medio de cultivo posible. Por otro lado, se puede observar en este capítulo una simulación, en la cual se incluyen los balances de masa y energía, parámetros cinéticos de *Chlorella pyrenoidosa*, los resultados de la simulación obtenidos a través del software R.Studio, así como también el layout de la planta con sus distintas vistas.

Con respecto a higiene y seguridad del presente trabajo, en el capítulo siete se describe la limpieza del fotobiorreactor, como a las medidas de seguridad necesarias para evitar incidentes y accidentes.

El capítulo ocho incluye la localización de la planta en Villa Regina, Rio Negro. Así

mismo, se hace referencia en a la capacidad operativa a 10 años de la planta, como a la organización jurídica de la empresa en la cual se incluiría la planta propuesta.

El análisis de costos y la evaluación económica se detallan en el capítulo nueve y diez respectivamente. En ellos se puede observar la inversión monetaria para poner en marcha el fotobiorreactor y una proyección de las ganancias que se pueden obtener a través de la venta de la biomasa producida.

Por último, en el capítulo once se ponen en consideración las conclusiones y discusiones obtenidas a lo largo del trabajo, haciendo hincapié en la rentabilidad del proyecto y la disminución de los gases de efecto invernadero liberados por las calderas de la empresa. A fin de mejorar ciertos aspectos, en dicho capítulo se plasman las propuestas de mejora para el proyecto.

Índice general

1. Introducción	1
2. Justificación de elección de Proceso	3
Tecnologías para eliminar el dióxido de carbono	3
Microalgas	6
Legislación	7
3. Estudio de Mercado	13
Empresas productoras de microalgas	15
4. Localización de la planta	18
Materia prima	18
Servicios auxiliares	19
Recursos humanos	20
5. Componentes del proceso	21
Microalga	21
Fijación del dióxido de carbono	24
Tipos de fotobiorreactores utilizados para el cultivo de microalgas	25
Descripción del proceso	30
Optimización de recursos	32
6. Diseño del proceso	36
Diseño de equipos	36
Balances asociados al proceso	42
Resultados de simulación	49
Comparación	52
Layout de la Planta	53

7. Higiene y Seguridad	55
Limpieza del fotobiorreactor	55
Medidas de seguridad necesarias para la utilización del fotobiorreactor	56
Consideraciones de seguridad generales para la manipulación y utilización de bombas hidráulicas	58
Medidas de seguridad en el laboratorio	59
Desechos	59
Riesgos	59
8. Estudio de factibilidad técnica	63
Análisis y determinación de la localización y capacidad óptima del proyecto	63
Determinación de la capacidad operativa	64
Organización jurídica	64
9. Análisis de Costos	66
10. Evaluación económica del proyecto	68
11. Conclusión y Discusiones	71
Propuestas de mejora	72
A. Anexo A1	82
SCHOTT PBR: instalación y operación manual	82
A. Anexo A2	94
Kaeser: compresores	94
A. Anexo A3	106
Flottweg: tecnologías de separación	106
A. Anexo A4	111
Sedicanter	111
B. Anexo B1	124
Diagramas	124
C. Anexo C	126
Planos	126

D. Anexo D	130
Diseño de Equipos	130

Índice de figuras

3.1. Usos de las microalgas. Modificado de Rizwan y col. (2018)	16
5.1. Fases de crecimiento. Fuente: Prieto Márquez (2020)	24
5.2. Cultivo raceway. Fuente: Ozone (2017)	25
5.3. Fotobiorreactor vertical tubular. Fuente: Núñez Rivera (2017)	26
5.4. Fotobiorreactor de panel plano. Fuente:López González (2016)	27
5.5. Fotobiorreactor horizontal tubular. Fuente: López González (2016)	28
5.6. Fotobiorreactor de tipo helicoidal. Fuente: Acuña Torres (2008)	28
5.7. Fotobiorreactor de tanque agitado. Fuente: String Fixer (2020)	29
5.8. Fotobiorreactor de tipo híbrido. Fuente: Carvalho y col. (2006)	29
5.9. Plano de la empresa con las localizaciones de cada lugar	31
5.10. Diagrama de flujo Fuente: Producción propia.	34
6.1. Fotobiorreactor tubular. Fuente: Varicon aqua (2022)	37
6.2. Compresor de tornillo. Fuente: Kaeser	38
6.3. Proceso de obtención de biomasa seca. Fuente: Flottweg (2022)	41
6.4. Producción de biomasa. Fuente: Producción propia	50
6.5. Venteo de Dióxido de Carbono y Nitrógeno. Fuente: Producción propia	51
6.6. Caudal de gas. Fuente: Producción propia	51
6.7. Iluminancia. Fuente: Producción propia	52
6.8. Schott PBR Calculadora resultados. Fuente: Schott (2018)	53
6.9. Layout general de la planta. Fuente: Producción propia	54
7.1. Riesgos Mecanicos. Extraído de Dirección de Seguridad Laboral (2013)	60
8.1. Plano de ubicación en Villa Regina	63
8.2. Organigrama Jugos S.A.	65
B.1. Rugosidad relativa.	124

B.2. Diagrama de Moody.	125
---------------------------------	-----

Índice de cuadros

2.1. Valores establecidos por la Ley 5965	10
5.1. Condiciones de crecimiento de microalgas. Fuente: Elaboración propia . .	23
5.2. Promedio de valores de gas emitidos en una hora por dos de las calderas de Jugos S.A.	31
6.1. Especificaciones de la bomba.	39
6.2. Especificaciones de la bomba.	39
6.3. Especificaciones de la bomba.	40
6.4. Especificaciones de la bomba.	40
6.5. Especificaciones de la bomba.	41
6.6. Parámetros de la microalga.	45
6.7. Variables correspondientes a los balances de masa	46
6.8. Variables correspondientes a los balances de energía	49
7.1. Productos químicos para la limpieza del fotobiorreactor	55
8.1. Producción a 10 años	64
9.1. Costos de maquinarias Fuente: Elaboración propia	66
9.2. Costos fijos y variables Fuente: Elaboración propia	67
10.1. Flujo de caja	70
D.1. Especificaciones del fotobiorreactor.	131
D.2. Fotobiorreactor	131
D.3. Parámetros de la bomba	134
D.4. Parámetros de la bomba	134
D.5. Parámetros de la bomba	135
D.6. Parámetros de la bomba	135

D.7. Parámetros de la bomba 136
D.8. Especificaciones del Sedicanter 137

Lista de Abreviaciones

ACV = Accidente cerebrovascular

ATP = Adenosin trifosfato

CCU = Compañía de cervezas unidas

C_N = Concentración de nitrógeno limitante del crecimiento

C_{B0} = Concentración de biomasa inicial

C_B = Concentración de biomasa

C_{CO_2} = Concentración de dióxido de carbono limitante del crecimiento

C_{eCO_2} = Concentración de dióxido de carbono a la entrada

C_{eN} = Concentración de nitrógeno a la entrada

C_{sCO_2} = Concentración de dióxido de carbono a la salida

C_{sN} = Concentración de nitrógeno a la salida

D = Diámetro

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

DQO = Demanda química de oxígeno

EPP = Elementos de protección personal

FAUBA = Facultad de agronomía de la Universidad Nacional de Buenos Aires

F_b = Caudal correspondiente a la bomba

F_{eT} = Caudal de entrada total de los gases de caldera

F_I = Iluminancia

IR = Radiación infrarroja

K_{SN} = Constante asociada al nitrógeno

K_{CO_2} = Constante asociada al dióxido de carbono

K_I = Constante asociada a iluminancia

L = Largo

NADPH = Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato

NO_x = Óxidos de nitrógeno

OMS = Organización mundial de la salud

Q = Caudal
RCP = Respiración cardiopulmonar
Re = Reynolds
Rug_{relativa} = Rugosidad relativa
SCF = Fluido supercrítico
SO₂ = Dióxido de azufre
TIR = Tasa interna de rentabilidad
UE = Unión europea
UV = Radiación ultravioleta
V = Volumen del reactor
VAN = Valor actual neto
Y_{CO₂B} = Rendimiento de dióxido de carbono con respecto a biomasa
Y_{NB} = Rendimiento de nitrógeno con respecto a la biomasa
f = Factor de fricción
g = gravedad
h_b = Cabeza de bomba
h_f = Pérdidas por fricción
k_d = Constante asociada a la muerte celular
m_B = Masa de biomasa
m_{CO₂} = Masa de dióxido de carbono
m_N = Masa de nitrógeno
pH = Potencial de hidrógeno
r_B = Tasa volumétrica de generación de biomasa
r_{CO₂} = Tasa volumétrica de consumo de dióxido de carbono
r_N = Tasa volumétrica de consumo de nitrógeno
t = tiempo del proceso
u = velocidad

Letras griegas

ε = Rugosidad
μ = Viscosidad
μ_g = Velocidad específica de generación de biomasa
μ_{max} = Velocidad específica máxima de crecimiento de biomasa
ρ = Densidad del medio de cultivo

Fórmulas químicas

CO = Monóxido de carbono

CO_2 = Dióxido de carbono

$C_6H_{12}O_6$ = Glucosa

H_2O = Agua

O_2 = Oxígeno diatómico

Resumen

En la actualidad, la mayoría de las industrias liberan contaminantes al medio, generando un problema ambiental a nivel mundial. Para evitar seguir generando esta contaminación, las empresas deberían investigar y aplicar distintos tipos de métodos que permitan tratar las emisiones gaseosas y efluentes líquidos liberados.

Por consiguiente y como punto de partida en el presente trabajo, se indagaron distintas metodologías en uso con el fin de seleccionar la más adecuada para el tratamiento de los gases producidos por la combustión y los efluentes industriales de la empresa juguera Jugos S.A. Dada la rentabilidad y diversidad de productos que pueden obtenerse, se decide realizar el tratamiento de los efluentes utilizando el cultivo en fotobiorreactores de biomasa microalgal. Además, fue necesario determinar qué tipo de microalga se adaptaría mejor a las condiciones climáticas del lugar, teniendo en cuenta que la empresa se ubica en el Alto Valle de Río Negro, específicamente en la ciudad de Villa Regina.

Jugos S.A. tiene actualmente en funcionamiento una planta de tratamiento de efluentes líquidos, sin embargo, las emisiones gaseosas generadas por la combustión de las calderas no presentan ningún tratamiento. Es por esta razón, que el objetivo de este proyecto es producir microalgas que utilicen como sustrato los gases de efecto invernadero originados en las calderas humotubulares necesarias en los procesos de la empresa, junto con sus aguas residuales, teniendo como finalidad evitar el uso de agua de red y cumplimentar con los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU. Asimismo, y en relación a la evaluación económica, se prevé la posibilidad de evitar futuras multas monetarias derivadas de la emisión de estos contaminantes, por lo tanto, la relevancia de este proyecto radica en generar un ambiente libre de contaminación, buscando a su vez mejorar la calidad de vida de las personas que habitan esta región y permitiendo además que la empresa siga desarrollándose de una manera económicamente beneficiosa.

La planta que se diseña para llevar a cabo esta idea cuenta principalmente con un compresor de tornillo para la conducción de los gases, un fotobiorreactor tubular de 315 m³, además de bombas y un sistema de procesamiento posterior para la separación de las microalgas del medio de cultivo.

De los datos analizados, se encontró que el microorganismo óptimo es *Chlorella Pyrenoidosa*, ya que sería quien mejor se adaptaría a las condiciones climáticas del lugar donde se encuentra radicada la empresa JUGOS SA. Además, a través del software *R.Studio*

se logró estimar que, a partir de un inóculo de $10 \text{ mg}/m^3$, se producirán 1711,66 kg de microalga en base húmeda, tardando aproximadamente 14 días en crecer.

El análisis económico realizado en este trabajo se plantea a partir de la venta a granel de la microalga cultivada, durante un periodo de tiempo a 10 años. En base al mismo y teniendo en cuenta el Valor Actual Neto, se concluye que la empresa obtendría ganancias a partir del capital invertido, siendo este un valor positivo de \$4.424.095.833.

En los últimos años a nivel mundial y a través de diferentes legislaciones, se busca impulsar a que distintas empresas del país disminuyan la huella de carbono producida por sus procesos, siendo éste trabajo un ejemplo de lo que podría realizarse para tal fin.

Abstract

At present, most industries release pollutants into the environment, generating a world-wide environmental and economic problem. To avoid further contamination, companies should investigate and apply different types of methods to treat the gaseous emissions and liquid effluents released.

Therefore, and as a starting point in this work, different methodologies in use were investigated in order to select the most appropriate for the treatment of gases produced by combustion and industrial effluents from the juice company Jugos S.A. Given the profitability and diversity of products that can be obtained, it was decided to treat effluents using microalgal biomass cultivation in photobioreactors. In addition, it was necessary to determine which type of microalgae would be best adapted to the climatic conditions of the place, taking into account that the company is located in the Alto Valle de Río Negro, specifically in the city of Villa Regina.

Jugos S.A. currently has a liquid effluent treatment plant under operation; however, the gaseous emissions generated by the combustion of the boilers are not treated because of their parameters are in permitted levels. For this reason, the goal of this project is to produce a microalgae that use as a substrate the greenhouse gases generated by the humotubular boilers required in the company's processes, together with their wastewater, in order to avoid the use of mains water. Likewise, and in relation to the economic evaluation, it is foreseen the possibility of avoiding future monetary fines derived from the emission of these pollutants, therefore, the relevance of this project lies in generating a pollution-free environment, seeking in turn to improve the quality of life of the people who live in this region and also allowing the company to continue developing in an economically beneficial way.

The plant proposed to carry out this idea has mainly a screw compressor for the conduction of gases, a tubular photobioreactor of 315 m^3 , in addition to pumps and a downstream processing system for the separation of microalgae from the culture medium.

From the processed data, it was obtained as a result that the optimal microorganism taking into account the climatic conditions of the site will be *Chlorella Pyrenoidosa*. In addition, through the *R.Studio* software, it was estimated that, from an inoculum of 10 mg/m^3 , 1711.66 kg of microalgae will be produced on a wet basis, taking approximately 14 days to grow.

The economic analysis carried out in this work is based on the bulk sale of the cultivated microalgae for a period of 10 years. Based on the same and taking into account the Net Present Value, it is concluded that the company would obtain profits from the invested capital, being this a positive value of \$ 4,424,095,833.

It is expected that different companies in the country seek to reduce the carbon footprint produced by their processes, and this work is an example of what could be done to that purpose.

Capítulo 1

Introducción

El crecimiento masivo de la industria en los últimos años ha generado una gran emisión de distintos tipos de contaminantes al medioambiente, tanto sólidos, líquidos, como gaseosos, estos últimos se constituyen mayoritariamente por gases de efecto invernadero. Entre ellos se destacan metano, ozono troposférico, clorofluorocarbonados y dióxido de carbono (Solano Barajas y col., 2012).

Actualmente la mayoría de las industrias emiten contaminantes al medioambiente. Esto genera un gran problema ambiental y económico a nivel mundial ya que las mismas deben investigar y aplicar distintos tipos de métodos para tratar los gases emitidos y de esta manera no seguir generando contaminación. Si se analiza el país en el cual se llevará a cabo el proyecto, se ha determinado que Argentina tiene menos del 0,7% de impacto en el calentamiento global. Si bien el porcentaje no es alto, se encuentra dentro de los 30 países más contaminantes del mundo y el tercero a nivel latinoamericano (Rocha, 2019). Esto está dado principalmente por partículas PM2,5 (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras), ya que superan en un 40% el límite que considera seguro la OMS y se estima que ocho toneladas por año es la cantidad que produce cada argentino (Tavera Busso, 2019).

Alrededor del mundo se está trabajando arduamente para intentar mitigar el cambio climático, tratando los gases que emiten las industrias, así como también, los gases provenientes de automóviles. Así, por ejemplo, la Universidad College de London en conjunto con la Universidad de Newcastle desarrollaron una membrana autoformante capaz de separar el dióxido de carbono de una mezcla de gases y de esta forma liberar al ambiente solo gases inofensivos para el mismo (Europa Press, 2020).

Además de los gases de efecto invernadero, las aguas residuales ricas en materia orgánica es otra de las problemáticas que tienen que enfrentar las industrias. Las mismas

contienen grandes cantidades de amonio y fosfatos, pudiendo ser utilizadas como un medio de cultivo ideal para las microalgas (Tan y col., 2021).

Las microalgas son organismos unicelulares o pluricelulares que realizan la fotosíntesis para obtener su energía y una gran cantidad de metabolitos de alto valor con diversas aplicaciones en áreas como cosmética, bioenergía, salud, alimenticia, entre otras. Estas han sido estudiadas en los últimos años debido a que poseen una mayor capacidad de conversión de dióxido de carbono comparadas con las plantas terrestres, siendo entre 10 y 50 veces mayor. Además, cabe destacar que son los únicos organismos capaces de utilizar altas concentraciones de este gas carbónico, generando alta productividad de biomasa y productos de alto valor agregado (García Cubero, 2014).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en este proyecto final de carrera se propone la producción de microalgas mediante el aprovechamiento de los gases de efecto invernadero y las aguas residuales provenientes de una industria juguera del Alto Valle de Río Negro utilizandolos como medio de cultivo para su crecimiento. El fin es disminuir la contaminación ambiental generada a través de la producción de gases originados por la utilización de calderas humotubulares necesarias en el proceso de producción de la empresa Jugos S.A, aprovechando además sus aguas residuales, con el fin de evitar el uso de agua de red y/o pozo. También se prevé la posibilidad de evitar futuras multas monetarias derivadas de la liberación de contaminantes al medioambiente. La relevancia de este proyecto radica en generar un ambiente libre de contaminación, buscando a su vez mejorar la calidad de vida de las personas que habitan esta región.

Capítulo 2

Justificación de elección de Proceso

Tecnologías para eliminar el dióxido de carbono

En este capítulo se desarrollarán brevemente algunos ejemplos investigados asociados a la eliminación del dióxido de carbono implementando diferentes métodos.

Eliminación y captura de dióxido de carbono para la mejora del gas de vertedero

Lombardi y col. (2011) reportaron la investigación de procesos capaces de elaborar productos sólidos finales que puedan ser utilizados en la industria química, o bien, ser eliminados. El mismo se llevó a cabo en una planta piloto ubicada en un vertedero de Toscana, la cual fue alimentada por gases de vertedero recogidos in situ. La planta contaba con una columna rellena de una solución acuosa de hidróxido de potasio que reaccionaba con el dióxido de carbono a presión atmosférica, produciendo una solución acuosa de carbonato de potasio y además, un gas casi libre de dióxido de carbono (composición muy similar al gas natural). Los investigadores mencionaron que el carbonato de potasio puede ser aplicado en varias industrias, producción de vidrios especiales, sales de potasio, tintas, pigmentos, detergentes, industria alimentaria, etc.

Procesos ecológicos sostenibles mediante el uso de dióxido de carbono como fluido supercrítico (SCF, por sus siglas en inglés)

De acuerdo con Ramsey y col. (2009), el dióxido de carbono ofrece un potencial significativo en su fase de fluido supercrítico para reemplazar la dependencia actual de una

gama de disolventes orgánicos peligrosos, relativamente costosos y dañinos para el medio ambiente que se utilizan a nivel mundial. Estos autores propusieron distintos procesos en los que se podría utilizar el CO_2 :

- Extracción con SCF: Descafeinización del café, aislamiento de algunos componentes aromáticos del lúpulo, recuperación de ácidos grasos, generación de productos herbales, etc.
- Reacciones sintéticas orgánicas: Se ha informado que las velocidades de reacción en medios SCF son mayores debido a la mayor transferencia de masa de los reactivos en estos medios en comparación con las reacciones sintéticas mediadas por disolventes orgánicos, traduciéndose en la reducción de la energía demandada en comparación con reacciones químicas utilizando disolventes orgánicos
- Catálisis: La utilización de SCF ofrecen mejor oportunidad para separación de productos y eliminación del disolvente, menor tiempo de catálisis y mayor vida útil del catalizador.
- Biotecnología con SCF: Se hicieron estudios utilizando, por ejemplo, enzimas inmovilizadas y no inmovilizadas y se determinó que ciertas enzimas como las lipasas, pueden trabajar de forma eficiente a temperaturas superiores a 373 K utilizando SCF.
- Ingeniería de partículas: Diseño de partículas usando CO_2 está demostrando un importante potencial en industria farmacéutica, cosmética, así como también, química especializada.
- Polimerización: Producción de uropolímeros amorfos, polisiloxanos, polímeros hidrocarbonados, polibutilacrilato y poliestireno. La ventaja de utilizar SCF es que proporciona polímeros libres de solventes y de agua.

Experimento sobre la eliminación del dióxido de carbono de los gases de combustión

Johny y col. (2019) estudiaron la fabricación de una unidad sencilla. Contenía un tanque que se utilizaba para almacenar la solución de hidróxido de sodio, un ventilador de flujo axial que ayudaba a aumentar el flujo de CO_2 , una boquilla para rociar la solución y una bandeja colectora para el producto final, que en este caso se trató de carbonato de

sodio precipitado.

Como resultado, el aparato de captura de dióxido de carbono presentó una captura con una eficiencia máxima del 46,13 %.

Eliminación de dióxido de carbono en la industria siderúrgica

Gielen (2002) menciona en su publicación que la mayoría de las plantas siderúrgicas están situadas en vías fluviales para reducir los costes de transporte de productos y recursos. En muchos casos, esto permite un almacenamiento oceánico fácil y barato. En el caso del almacenamiento oceánico se requiere menos presurización. A partir de una profundidad de unos 500 m (donde existe una presión de 50 bar), se forman hidratos de CO₂ que se hunden hasta el fondo.

Este trabajo se basa en la eliminación de CO₂ con selexol, a una temperatura de 293 K y a una presión 20-30 bar. El porcentaje de eliminación rondó entre 85-99,5 % del CO₂.

Tratamiento de aguas residuales de la industria con microalgas

En los últimos años varios sectores de la industria alimentaria han estado investigando la utilización de microalgas para el tratamiento de sus aguas residuales, ya que las mismas poseen cantidades muy elevadas de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Sirohi y col., 2022). Marazzi y col. (2020) reportaron un estudio en dónde utilizaron un consorcio de microalgas, compuesto por las especies *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas* y cianobacterias para el tratamiento de aguas residuales provenientes de suero de leche. Como resultado de la investigación, lograron una recuperación efectiva de la biomasa, una reducción de la DQO, nitrógeno y fósforos en un 94, 90 y 73 % respectivamente, siendo esta posible debido a la presencia de consorcios bacterianos en los cultivos de microalgas, recalcando el potencial de los mismos para el tratamiento de contaminantes del ambiente.

Si bien, algunos de estos procesos podrían generar un menor costo económico que el propuesto en este proyecto, se decide continuar con esta idea ya que las microalgas se caracterizan por tener un crecimiento rápido, de aproximadamente 14 días. Además, la utilización de aguas residuales para su crecimiento involucraría el tratamiento de otro contaminante para el medio ambiente, por lo tanto, en un mismo proceso se estarían contribuyendo a disminuir el impacto que generan ambos efluentes.

Microalgas

Dentro del campo de estudio de las microalgas, se han catalogado más de 40.000 cepas que presentan diferencias en cuanto a la velocidad de crecimiento, las necesidades de luz (intensidad y fotoperiodo), tolerancia a dióxido de carbono y composición celular (Zhou y col., 2017). Entre las más investigadas para diversos fines, se destacan *Spirulina sp.*, *Nannochloropsis sp.*, *Haematococcus sp.*, *Artrospira sp.*, *Muriellopsis sp.*, *Scenedesmus sp.*, etc. A partir de las mismas pueden obtenerse una gran variedad de bioproductos de alto valor agregado que luego se utilizan en la producción de piensos, suplementos alimentarios, industria cosmética, industria farmacéutica, biodiésel, etc. *Chlorella sp.*, ha sido ampliamente estudiada ya que posee un gran potencial en la producción de alimentos, cosméticos y biocombustibles. Además, cabe destacar que es una de las especies que mayor tolerancia presenta a altas concentraciones de carbono y temperatura (Gomez-Luna y col., 2022).

Varios autores han investigado acerca de la producción de microalgas a partir de dióxido de carbono y aguas residuales. Se reportó para *Chlorella vulgaris* UTEX 1803 que bajas concentraciones de la fuente de nitrógeno (menos de 1,18mM) y altas concentraciones de carbono (3,8 %v de CO₂) mejoran hasta dos veces la productividad total de biomasa (de 0,2 a 0,44g/· día) (Solano Barajas y col., 2012).

Por otro lado, Castillo Vacas (2020) plantea que el crecimiento celular de *Scenedesmus sp.* en el medio de cultivo BG-11 y con suplementación de 0,3, 10 y 20 % v/v de CO₂ se ve favorecido en la concentración del 20 % v/v, con lo cual se obtuvo un máximo crecimiento microalgal de $33 \cdot 10^6$ células/mL. La utilización de agua residual como medio de cultivo para el crecimiento celular de *Scenedesmus sp.* es viable, registrando que el mejor desempeño de biomasa se obtuvo al suministrar 20 % de CO₂ y 25 % de agua residual alcanzando una concentración de $11 \cdot 10^6$ células/mL. La captura de CO₂ es viable teniendo los mejores resultados para las concentraciones de agua residual de 25, 50 y 75 %, suplementando un 10 % de CO₂. Al incrementar la concentración de dióxido pueden existir problemas de solubilidad y saturación, disminuyendo así el proceso de biocaptura.

Por último, Gómez y col. (2013) encontraron que utilizar aguas residuales como medio de cultivo permitía el crecimiento adecuado de *Muriellopsis sp.* Además, este estudio demostró que a partir del método implementado se reducirían los costos del proceso al disminuir el uso de agua dulce y fertilizantes para la producción de biodiesel y bioetanol.

Finalmente, a partir del estudio, investigación y conclusiones extraídas tanto de estos artículos como de varios más, se ha decidido plantear un proyecto para la producción

de microalgas no sólo a partir de dióxido de carbono, sino que incluyendo además todos los gases de combustión emitidos por las calderas y también, aguas residuales de la industria juguera. El objetivo de su incorporación es evitar la separación del dióxido de carbono de los gases restantes, generando un menor costo económico y pensando en que la empresa pueda seguir desarrollándose de manera económicamente beneficiosa, pero también apoyando al resguardo y cuidado del medioambiente.

Si bien existen métodos químicos, por lo general los mismos producen residuos que deben ser tratados ya que contaminan tanto recursos hídricos como suelos. En cambio, al producir microalgas, se evita el uso de agentes químicos contaminantes obteniéndose subproductos de alto valor agregado evitando la generación de desechos en el proceso.

Legislación

El proyecto que se plantea en este trabajo se encuentra enmarcado dentro de la fábrica Jugos S.A., que cumple con la legislación municipal, provincial, como también nacional. A continuación, se mencionan las leyes provinciales y nacionales donde se enmarca el presente proyecto. Además, se hace mención a las legislaciones que poseen otros países, así como también la Unión Europea.

Leyes Provinciales

- Ley N° 2.391: Recursos Hídricos: Esta ley provincial cuenta con 28 artículos, entre los cuales se destaca el control de la calidad y protección de los recursos hídricos (aguas superficiales como subterráneas) utilizados como cuerpos receptores de residuos o efluentes producto de la actividad del hombre. Prohíbe la descarga de aguas residuales tratadas o sin tratamiento previo a cualquier receptor hídrico (vía pública, aguas subterráneas, etc), salvo expresa autorización del ente regulador. En caso de incumplimiento, las correspondientes sanciones o multas, calculadas a partir del costo que tendría el tratamiento del efluente evacuado (Ley 2.391, 1990).
- Ley N° 3.183: Agua potable - desagües cloacales, riego y drenaje: Cuenta con 67 artículos entre los cuales se destacan las bases y condiciones para la prestación de servicios de agua potable, desagües cloacales, riego y drenaje en la provincia. Además, establece la creación de un Ente Regulador que garantice el mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de provisión de desagües cloacales y agua potable, así como también, la regulación y control de los mismos (Ley 3.183, 1995).

- Ley N° 3.266: Evaluación de impacto Ambiental: Dicha ley posee 45 artículos, la misma regula en el territorio de la provincia de Río Negro los procedimientos de evaluación de impacto ambiental como un instituto. Además, tiene en cuenta el uso y aprovechamiento de los recursos naturales de forma segura sin producir daños a los mismos (Ley 3.266, 1998).
- Ley N° 5.140: Ley general del cambio climático: El objetivo es reducir la emisión de gases de efecto invernadero a través de un marco regulatorio, adoptando medidas de adaptación frente al cambio climático. Entre ellas, se contempla la protección de recursos naturales, impulsar la potenciación y utilización de energías renovables y alternativas, promover el mantenimiento de la reforestación, etc (Ley 5.140, 2016).

Leyes Nacionales

- Ley N° 25.612: Ley de Gestión Integral de los Residuos Industriales y de Actividades de Servicios: Cuenta con 64 artículos entre los cuales se destaca la importancia de garantizar la preservación ambiental, conservar la biodiversidad, el equilibrio de los ecosistemas y la calidad de vida de la población en general a través del control y reducción de los residuos de origen industrial y de las actividades de servicios que sean generadas en todo el territorio nacional, proponiendo además la promoción y utilización de tecnologías más limpias. El incumplimiento de esta ley implica sanciones de apercibimiento, multas, clausuras, suspensión de las actividades o cancelación definitiva de las mismas (Ley 25.612, 2002a).
- Ley N° 25.675: Ley General de Medio Ambiente: Cuenta con 35 artículos que hacen referencia a los presupuestos mínimos para una gestión sustentable, competencia judicial, la búsqueda de proteger a la biodiversidad y el desarrollo sostenible en el territorio nacional. Dicha ley además, establece un marco sobre la participación en daños ambientales y propicia la educación ambiental, en el cual se explicita que se deberá constituir un seguro que garantice la recomposición del daño (Ley 25.675, 2002b).
- Ley N° 25.688: Ley de Régimen de Gestión Ambiental de Aguas: Cuenta con 10 artículos que garantizan el aprovechamiento, uso racional y preservación de las aguas, entendiéndose aquellas de origen natural, subterráneas, superficial, artificial, atmosféricas, acuíferas y ríos subterráneos. Además, establece los límites máximos de vertido para las aguas de acuerdo a diferentes usos (Ley 25.688, 2002c).

- Ley N° 20.284: Plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas: Incluye a todas las fuentes que puedan crear contaminación atmosférica en jurisdicción federal y/o provincias adheridas. Entre los contaminantes menciona las emisiones de monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono y oxidantes en general, partículas en suspensión partículas sedimentables y sus respectivos valores (Ley 20.284, 1973).

Leyes Internacionales

El Parlamento Europeo dictó a través del Diario Oficial de la Unión Europea el reglamento en el cual se establece que para el año 2030 las emisiones gases de efecto invernadero deberían disminuir un 55 % con respecto a las emisiones de 1990 y para el año 2050 las emisiones de dióxido de carbono deberían ser nulas. Además, fijó un límite de emisión de 225 millones de toneladas equivalentes de CO₂ (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2021).

Por su parte, en el Boletín Oficial de Estado de España mediante un decreto real se dicta la creación del registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de CO₂, buscando contribuir a la reducción a nivel nacional de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las personas jurídicas que desarrollen una actividad que generen este tipo de emisiones deben calcular su huella de carbono y realizar actividades dirigidas a su reducción (Ministerio de educación cultura y deporte, 2014).

Finlandia en cambio, ha fijado metas en tiempos más reducidos. Este país nórdico se ha propuesto ser neutro en carbono para el año 2035 y para el año 2050 ser carbono negativo cumpliendo los objetivos impuestos por la UE antes de tiempo (Bergman, 2021).

Legislación referente a los gases liberados

Si bien no existe una legislación a nivel nacional o provincial dónde se especifiquen los valores establecidos para los procesos de combustión, la empresa utiliza la legislación de la provincia de Buenos Aires para el control de los efluentes gaseosos. La misma se destalla a continuación:

- Ley 5.965: Ley de protección a las fuentes de provisión, cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera: Fue sancionada en el año 1958, cuenta con 14 artículos dentro de los cuales se prohíbe la liberación de efluentes de tipo sólido, líquidos o gaseosos sin previo tratamiento y que puedan generar una degradación tanto de los

cursos hídricos, la calidad atmosférica y la salud de la población en general. Además, establece que no podrán habilitarse establecimientos que no realicen un tratamiento de sus efluentes, generando infracciones monetarias que pueden llegar a abarcar hasta los 100.000 pesos (Ley 5.965, 1958). Dentro de esta ley, se encuentra el decreto mencionado a continuación .

- Decreto 1.074/18: Deroga el decreto 3395/96 y establece valores norma y niveles guía en calidad de aire de contaminantes específicos (Decreto 1.074, 2018).

Cuadro 2.1: Valores establecidos por la Ley 5965

Parámetros	Unidad	Nivel Guía de Emisión
Óxidos de Nitrógeno	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	367
Dióxido de Carbono	[%]	Valor no establecido
Dióxido de azufre	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	250
Monóxido de Carbono	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	40.000
Oxígeno	[%]	Valor no establecido

Legislación aplicada a la biomasa

Se realizó una búsqueda bibliográfica de tesis/proyectos como así también a partir del sitio web de la cámara de diputados de la Nación Argentina. No se encontró específicamente legislación acorde al proceso que se está proponiendo, sin embargo, existen leyes que tratan acerca de la utilización de biomasa para la producción de energías renovables. Las mismas se mencionan a continuación:

- Ley 26093: Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles: Esta ley cuenta con 21 artículos dentro de los cuales establece la Creación de una Comisión Nacional Asesora que incita a promover y controlar la producción y uso sustentables de biocombustibles producidos a partir de materias primas de origen agroindustrial, agropecuario o desechos orgánicos Además especifica que todo combustible líquido (diesel oil, gasoil o nafta) que se comercialice en el territorio Nacional debe ser combinado con un mínimo de 5% de biocombustible (Ley 26.093, 2006). El incumplimiento de alguna de las resoluciones,

disposiciones o normas de esta ley serán sancionadas con multas, inhabilitación de la actividad o inscripciones futuras, revocación de beneficios otorgados, entre otros.

- Ley 26.190: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica: Esta ley con 22 artículos tenía como objetivo que, para el año 2017, el 8 % de la energía eléctrica se originara a partir de energías renovables, proyectando un 20 % para el año 2025, definiendo además cuales son las fuentes renovables de las que pueden proceder, mencionando entre ellas aquella producida a partir de biomasa. Además, plantea los beneficios a los cuales acceden los emprendimientos que generen energía eléctrica a partir de fuentes renovables (Ley 26.190, 2015).

Legislación de promoción industrial

En Argentina existe una ley y un decreto que apoyan a la promoción industrial, los mismos fueron sancionados en la década del 80 y se mencionarán a continuación. Cabe destacar que en la búsqueda realizada no se ha encontrado ninguna legislación un poco más actualizada.

- Ley 23.614 Promoción Industrial: esta ley consta de 62 artículos en los cuales establece un sistema nacional de promoción industrial buscando fomentar el desarrollo de nuevas actividades industriales y mejoramiento de las ya existentes. Tiene como objetivo apoyar la industria nacional, estimular el desarrollo tecnológico y científico, buscar el crecimiento industrial en base a las necesidades socio-económicas, entre otras. Además, establece los beneficios que pueden gozar las empresas que son alcanzadas por esta ley (Ley 23.614, 1988).
- Decreto 2332/83 Promoción Industrial: en este decreto establece la promoción de industrias prioritarias en la zona de las Provincias de Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz, Territorio Nacional de Tierra del Fuego, Antártida, Islas del Atlántico Sur y el Partido de Patagones de la Provincia de Buenos Aires, obteniendo dichas empresas distintos beneficios tributarios. Se mencionan las condiciones que deben cumplir dichas industrias para ser consideradas como prioritarias, además de enumerar cuales se consideran para tal fin. Dentro de las mismas se encuentra la producción de algas, así como también la fabricación de productos farmacéuticos a partir de biomasa algal (Decreto 2.332, 1983).

Para el desarrollo del presente trabajo se tendrán en cuenta las legislaciones mencionadas anteriormente. A su vez, y siendo el principal objetivo de este proyecto el tratamiento de los efluentes contaminantes, se busca disminuir el impacto ambiental y ayudar a mitigar el cambio climático aminorando la huella de carbono en el medio ambiente.

Capítulo 3

Estudio de Mercado

Las microalgas producidas a través del cultivo en fotobiorreactores generan una gran variedad de subproductos, por lo tanto, Jugos S.A. se encargará de elegir cuales quisiera obtener a partir de la biomasa generada, y realizar por lo tanto, el correspondiente estudio de mercado. Los productos que pueden obtenerse luego del proceso de separación se mencionan a continuación.

Salud humana y productos nutricionales

En los últimos años se ha investigado ampliamente si existe algún beneficio asociado a la utilización de microalgas como un complemento nutricional, ya que son capaces de producir proteínas que superan la calidad de aquellas consumidas a través de verduras, arroz, trigo, entre otros. Producen además compuestos antioxidantes, como astaxantina, beta caroteno, y algunos otros carotenoides. Estos últimos se obtienen en condiciones específicas de estrés ambiental, como altas intensidades de temperatura y luz, falta de nutrientes e hipersalinidad (Rizwan y col., 2018).

Con respecto a la salud humana, *Spirulina sp.* ayuda en la prevención de enfermedades de las células vasculares, artiritis, diabétes, cáncer y anemias. Se utiliza también como fuente de alimento, aumenta las bacterias ácido lácticas en el tracto gastrointestinal, mejorando el funcionamiento de las hormonas del cuerpo (Rizwan y col., 2018).

Tanto *Chlorella sp.*, como *Dunaliella sp.* son ricas en vitaminas, carotenoides y proteínas, siendo una buena opción como fuente de alimento. Con respecto a la salud, *Chlorella* aumenta el nivel de hemoglobina, disminuyendo a la vez el nivel de azúcar y colesterol en sangre (Rizwan y col., 2018).

Cosmética

Entre las principales especies utilizadas en esta aplicación se encuentran *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis oculata*, entre otras. Suelen utilizarse para obtener productos para el cuidado del cabello, piel, rostro y protección solar, empleándose como espesantes, agentes antioxidantes y aglutinantes (Rizwan y col., 2018).

Biorrefinerías

A partir de la biorrefinería e integración de tecnologías de bajo impacto ambiental se obtienen coproductos de alto valor agregado. El proceso comienza con el cultivo de microalgas en distintos tipos de reactores, y una vez llegado a la fase de latencia, se extraen los compuestos de interés a través de técnicas como gasificación, pirolisis, licuefacción, etc. Entre los productos a obtener se pueden mencionar agaros, agarosa, vitamina B, alginatos, ácidos grasos poliinsaturados, etc (Rizwan y col., 2018).

Farmacéutica

Las algas verdeazuladas en general se caracterizan por producir toxinas que pueden utilizarse en la industria farmacéutica, además de otros compuestos bioactivos, como antibióticos, compuestos hepatotóxicos y neurotóxicos, alcoholes, ácidos grasos, terpenoides, polisacáridos, entre otros (Rizwan y col., 2018).

Alimentación animal

La biomasa microalgal se utiliza como alimento para animales debido a su alto contenido de lípidos, carbohidratos y proteínas, aunque es necesario tener en cuenta que debe representar un porcentaje bajo en su alimentación, ya que el consumo excesivo puede producir efectos adversos. Entre las especies más utilizadas podemos nombrar *Nannochloropsis*, *Chlorella*, *Phaeodactylum*, entre otras, las mismas se utilizan para alimentar peces de acuario, toros reproductores, vacas, gatos, perros, caballos y pájaros ornamentales (Rizwan y col., 2018).

Biofertilizantes

Las microalgas se utilizan como una fuente de fertilizante natural, ya que contienen gran cantidad de micro-macronutrientes esenciales, como enzimas, proteínas, vitaminas, e hidratos de carbono. Al reducir la utilización de fertilizantes artificiales, se mejoran ciertas propiedades del suelo, como, por ejemplo, pH, conductividad eléctrica, entre otras (Rizwan y col., 2018).

Biohidrógeno

El biohidrógeno es una alternativa a la utilización de combustibles fósiles, esto se debe a que posee energía limpia, competente, sostenible y un alto rendimiento energético. Puede obtenerse a partir de biofotólisis directa al utilizar agua y el sistema fotosintético microalgal, transformando la energía solar en energía química mediante la utilización de la enzima hidrogenasa, obteniendo como producto final hidrógeno molecular. Las microalgas utilizadas en este caso abarcan a *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nostoc*, *Tetraspora*, etc (Nagarajan y col., 2019).

Ficobiliproteínas

Las ficobiliproteínas son solubles en agua y funcionan como un colorante natural que puede extraerse a partir de la fotosíntesis producida por las microalgas. Son utilizados en laboratorios e industrias por ser fluorescentes y altamente sensibles, generando su extracción a partir de fosfato de sodio, sulfato de amonio y cromatografía. En el mercado, estos pigmentos poseen un precio de hasta 1500 U\$D el mg (Básaca-Loya y col., 2009).

En el cuadro que se muestra en la Figura 3.1 puede observarse un resumen de las posibles aplicaciones de las microalgas, clasificadas en diferentes categorías (Rizwan y col., 2018).

Empresas productoras de microalgas

Como el proyecto involucra una idea innovadora, se decidió realizar una búsqueda de empresas que se encuentren realizando este tipo de investigaciones alrededor del mundo. Entre ellas, podemos mencionar:

- Alga energy: Compañía cuyo objetivo es liderar proyectos de investigación, desarrollo e innovación, creando productos derivados de las microalgas (Madrid, España).

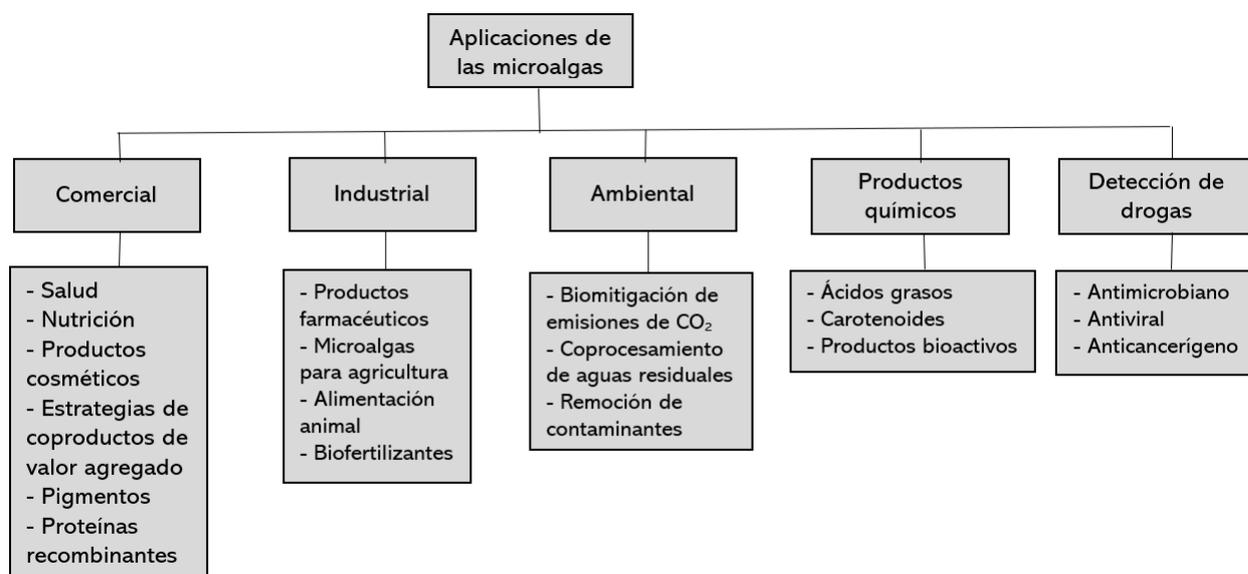


Figura 3.1: Usos de las microalgas.
Modificado de Rizwan y col. (2018)

- Argos: Empresa cementera y concretera número uno en Colombia. Desarrolla estrategias y tecnologías para capturar el dióxido de carbono producido por su industria mediante la incorporación de una serie de fotobiorreactores que producen microalgas (Fundada en Medellín, Colombia).
- Proyecto LifeAlgaecan (Algen): Liderado por la empresa CARTIF, tiene como objetivo la utilización de microalgas para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del procesado de verduras.
- Universidad de Kentucky: Investiga la posibilidad de desarrollar biocombustibles y materiales de base petroquímica (pinturas, plásticos, nylon) a partir de la microalga *Botryococcus braunii*.

Además, se investigaron qué otras entidades de la zona podrían aplicar el proyecto propuesto, con el objetivo de eliminar los gases de efecto invernadero provenientes de sus procesos. Entre ellas, podemos mencionar a:

- Planta piloto de los Alimentos Sociales, UNRN (Villa Regina)
- Hospital Escuela de Veterinaria, UNRN (Choele Choel)
- Sidrerías:

- La reginense (Villa Regina)
- La Farruca (General Fernández Oro)
- CCU-Saenz Briones (Allen)
- Reino de castilla (General Roca)
- Pülku (Villa Regina)
- Del Valle (General Roca)

- Planta faenadora Fridevi (Viedma)

- Purafrutta (Villa Regina)

- Mataderos:
 - Municipal de Luis Beltran
 - Solemar Alimentaria (Chimpay)

- Dry Food (Luis Beltrán)

- Proin S.A. (General Roca)

- Pequeña destilería Argentina (Allen)

- Centrales térmicas
 - Central Térmica Roca S.A.
 - Orazul Energy
 - Capex S.A
 - Central Térmica Loma de la Lata

Estos son sólo algunos de los ejemplos de industrias que podrían aplicar un proceso de producción microalgal para el tratamiento de sus efluentes, generando una reducción de la contaminación ambiental producida en Río Negro.

Capítulo 4

Localización de la planta

Materia prima

Como se ha descrito a lo largo de este proyecto, se utilizará como sustrato para el medio de cultivo, el agua residual proveniente tanto del proceso productivo, como el agua de rebalse utilizada para el movimiento de la fruta.

Otro sustrato implicado en el proceso son los gases producidos por las calderas, que actualmente se liberan al medioambiente sin un tratamiento previo. La empresa Jugos S.A se encuentra dotada de cuatro calderas, entre las cuales, una de ellas tiene como objetivo estar disponible en caso de que alguna de las calderas restantes no funcione, las otras tres se encuentran en constante funcionamiento durante temporada alta, mientras que en temporada baja sólo se utilizan dos.

Para el proceso de combustión generalmente suele emplearse gas natural. El mismo se quema dentro de la cámara de combustión, y una vez producidos los gases, ingresan a los tubos que se encuentran ubicados dentro del tambor de agua y son enviados hacia la chimenea, siendo separados del vapor de agua (Martinez Uoeda, 2012); éste último es utilizado por la empresa en tres momentos específicos:

- Recuperación de aromas.
- Preconcentración del jugo desde 12 a 20° brix con el objetivo de mejorar la ultrafiltración.
- Concentración final hasta 70° brix.

Si bien la producción de vapor de agua es necesaria para el proceso productivo de la empresa, los gases restantes son un subproducto no deseado de la combustión, produciendo

un emisión que debe ser tratado para evitar la liberación del mismo y contaminación del medioambiente.

Los efluentes mencionados anteriormente se utilizarán como medio de cultivo para producir *Chlorella pyrenoidosa*. Esta especie es comercializada por la Colección de Cultivos de Microalgas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (CCM-FAUBA) (Universidad de Buenos Aires, 2022). La CCM surgió debido a la carencia de laboratorios que se dediquen a la comercialización de este tipo de microorganismos, por lo tanto, su objetivo principal fue aislar especies de microalgas que posean potencial para el tratamiento de efluentes y generación de compuestos de interés.

Se plantea que en primera instancia sea adquirida a través de este banco, la misma es distribuida por la universidad en 3 tubos de 10 mL de cultivo cada uno. Una vez puesto en marcha el proceso, se planteará la posibilidad de crear inóculos propios para iniciar los próximos cultivos, pero es probable que, de todas maneras, se necesitan comprar determinadas unidades de inóculo al año. Se propone que el transporte a cargo del traslado del inóculo inicial desde la FAUBA hasta Villa Regina sea Expreso Oro Negro, ya que cuenta con una experiencia de 50 años realizando envíos de forma refrigerada desde Buenos Aires hacia el sur del país (Expreso Oro Negro, 2022). Es necesario que el microorganismo elegido sea transportado con refrigeración para garantizar su correcta duplicación en los futuros cultivos y proteger su integridad celular.

Servicios auxiliares

Uno de los servicios necesarios para el proceso de producción de microalgas es la energía eléctrica, que será utilizada para el funcionamiento del compresor, bombas, y centrífuga. En el capítulo 6 se detallan específicamente las partes del proceso productivo donde se encuentran ubicadas cada una de las maquinarias. Con respecto al agua de red (previamente osmotizada), si bien se planteó no utilizarla en el proceso, la misma será necesaria para el lavado postproducción del equipamiento utilizado. Por otro lado, el gas natural es utilizado en las calderas para la producción de vapor de agua, pero no se tendrá en cuenta en este proyecto como servicio auxiliar ya que el mismo se encuentra contemplado en el proceso productivo de la empresa.

Recursos humanos

Se plantea la incorporación de un laboratorista encargado de la toma de muestra para la medición del crecimiento de las microalgas, medio de cultivo (pH, DQO, DBO, entre otros), así como también la preparación de los inóculos. Además, es necesario la incorporación de una persona que se encargue de la limpieza, calibración y mantenimiento de los equipos.

Capítulo 5

Componentes del proceso

Microalga

Las microalgas son organismos eucariotas fotosintéticos, se encuentran principalmente en ecosistemas acuáticos y pueden vivir tanto en agua de mar como en agua dulce (Bito y col., 2020). *Chlorella* por su parte, es un alga verde unicelular que pertenece al filo Chlorophyta (Zhang y Liu, 2021), se utiliza actualmente para el tratamiento de aguas residuales, producción de biocombustibles, producción de suplementos nutricionales para animales y humanos y extracción de compuestos de alto valor, como pigmentos, ácidos grasos, entre otros (Bito y col., 2020).

Entre las algas utilizadas para frecuentemente se encuentra *Chlorella pyrenoidosa*, que se caracteriza por un crecimiento de forma autotrófica, heterótrofa o mixotrófica (Hongyang y col., 2011), presentando alta eficiencia fotosintética y conversión del CO₂ en O₂. Para poder desarrollarse, la temperatura óptima para el cultivo de la misma ronda entre los 20 - 30 °C, sin embargo, esta especie tiene la capacidad de cultivarse a temperaturas más altas, pudiendo soportar hasta 46°C, siendo de suma importancia teniendo en cuenta que las temperaturas de verano en el Alto Valle de Río Negro suelen alcanzar los 40°C. Otra de las cualidades de esta especie es su tolerancia al CO₂, abarcando un rango de concentración desde 5 a 50%(v/v), aunque es necesario tener en cuenta que el crecimiento óptimo se da a un 10% de CO₂, y a una intensidad de luz de 30–100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Zhang y Liu, 2021). Por otro lado, en cuanto al pH óptimo para que se desarrolle esta chlorofita, Jiang y col. (2011) realizaron una investigación donde sometieron a la misma a distintos valores de pH, que varían desde 1 a 8, siendo éste último el mejor para tal fin. Además, observaron que el fósforo es un factor limitante, ya que su crecimiento se vuelve más lento a bajas concentraciones del mismo.

También la bibliografía menciona a *Chlorella Vulgaris* como una microalga verde unicelular, eucariótica y fotosintética interesante para el tratamiento del dióxido de carbono, aguas residuales y biocombustibles obteniendo productos de alto valor agregado destinados a la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica, entre otros. Para el crecimiento de la misma, se encontró que concentraciones de CO₂ que abarquen desde un 4% a un 8% (v/v) producen las condiciones óptimas. En cuanto al pH, se reportó que *C. Vulgaris* puede desarrollarse en un amplio rango, desde 4 hasta 10, obteniendo una mayor productividad en ambientes alcalinos cercanos a este último para un crecimiento autótrofo. Con respecto a la temperatura, la microalga soporta desde 25 °C a 40 °C, siendo 30 °C la mejor para su desarrollo. Además, se recomienda que la concentración de nitrógeno no sea menor a 5mM para no limitar su crecimiento y mejorar la productividad de lípidos (Daliry y col., 2017).

Por otro lado, se puede nombrar a *Muriellopsis sp.*, con elevada tasa de crecimiento en el cultivo al aire libre, característica por la cual se utiliza frecuentemente en el tratamiento de aguas residuales. Esta puede crecer entre 5 y 10 en la escala de pH y a una temperatura de entre 20 y 30 °C, siendo la óptima de 25 °C (Gómez y col., 2013; Blanco y col., 2007). Sin embargo, a comparación de las microalgas nombradas anteriormente, esta tiene un cultivo de hasta 17 días, necesitando una continua suplementación de 2,5% de CO₂ (Xie y col., 2014).

Por su parte, *Scenedesmus sp.* es un alga verde colonial inmóvil que crece comúnmente en aguas dulces, aunque también puede encontrarse en algunos tipos de agua salobre (Zhang y Liu, 2021) y suele utilizarse como suplemento alimentario humano y animal por su alto contenido protéico (Pastor y Pozo, 2013). Se considera apropiada para la productividad de aceites y mitigación del CO₂ al crecer a temperaturas bajas, abarcando hasta los 33°C y presentando un desarrollo óptimo a los 26 °C (Ras y col., 2013). Con respecto al pH, puede crecer en un rango que abarca de 6 a 8, aunque es necesario tener en cuenta que, si se mantiene el cultivo en el extremo inferior, existe una gran posibilidad de proliferación de bacterias que afecten el desarrollo de la microalga, por lo tanto, para que sea óptimo, el cultivo debe mantenerse en un pH de 8 (Pastor y Pozo, 2013). Además, Vacca Jimeno y col. (2017) evaluaron diferentes concentraciones de dióxido de carbono determinando que *Scenedesmus* crece en mejor medida a un 20% (v/v).

Spirulina sp. es un alga en forma de espiral, verdeazulada que suele crecer en aguas mineralizadas (Zhang y Liu, 2021). Entre las aplicaciones más comunes se encuentran la utilización como complemento alimenticio en la dieta humana, ya que presenta un alto contenido en vitaminas, minerales y proteínas. Además, suele emplearse en tratamientos cicatrizantes, tratamientos y protección contra el cáncer, estimulación tiroidea, entre otros

(Pastor y Pozo, 2013). Con respecto a la tasa de fijación de CO₂, suele ser un poco más alta que en otro grupo de algas, alcanzando un 37.9%v/v (Zhang y Liu, 2021). Puede crecer en pH que van desde 7 a 11, obteniendo una mayor productividad a pH 9 (Zeng y col., 2011) , y en un rango de temperaturas óptimas entre 24 y 26 °C (Zhang y Liu, 2021)

En el cuadro 5.1 se presenta un resumen con las condiciones de crecimiento para los distintos tipos de microalgas nombradas anteriormente.

Cuadro 5.1: Condiciones de crecimiento de microalgas.

Fuente: Elaboración propia

Tipos de microalgas	Parámetros			
	Temperatura óptima [°C]	Rango de temperatura [°C]	pH óptimo	CO ₂ óptimo [% v/v]
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	25	20 - 46	8	10
<i>Chlorella vulgaris</i>	30	25 - 40	10	4 - 8
<i>Muriellopsis sp.</i>	25	20 - 30	8	2.5
<i>Scenedesmus sp.</i>	26	0 - 33	8	20
<i>Spirulina sp.</i>	25	20 - 35	9	18

Por otra parte, las microalgas en general se caracterizan por presentar distintas fases de crecimiento dependiendo del cultivo. Según Prieto Márquez (2020) las etapas generales pueden clasificarse como:

- Fase de latencia: Comienza en el momento de inoculación del reactor, no se producen nuevas células ya que las mismas se están adaptando al medio de cultivo.
- Fase exponencial: Las células comienzan a reproducirse a su máxima velocidad de crecimiento logrando aumentar la densidad celular en un lapso corto de tiempo.
- Fase estacionaria: En esta etapa los sustratos comienzan a agotarse, deteniendo el crecimiento de la microalga, manteniendo un equilibrio de la población celular (duplicación y muerte).
- Fase de muerte: Los nutrientes del medio de cultivo se han agotado, por lo tanto, la biomasa no puede seguir sobreviviendo, produciéndose la muerte de las células. También puede generarse por una intoxicación de las mismas a algún metabolito secundario producido durante el crecimiento.

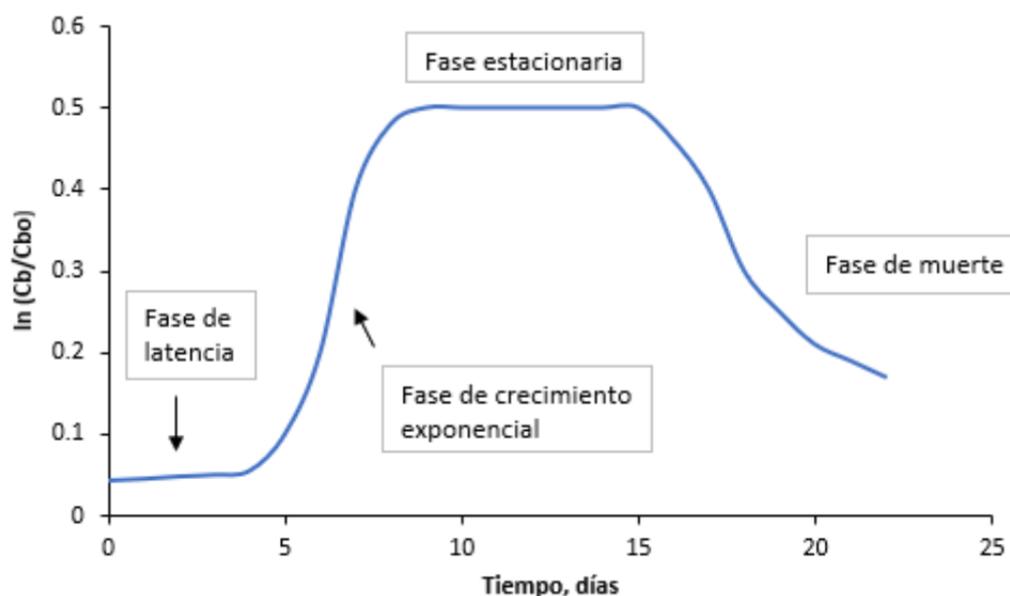


Figura 5.1: Fases de crecimiento.
Fuente: Prieto Márquez (2020)

Fijación del dióxido de carbono

La aplicación de este proceso se basa en la obtención de glúcidos y oxígeno mediante la utilización de organismos fotosintéticos, utilizando dióxido de carbono, aguas residuales y luz solar como fuente de sustrato. Como resultado del proceso de fotosíntesis, se generan moléculas de alta energía, como ATP y NADH (Arroyo Gómez, 2015). La fotosíntesis se describe a través de la siguiente ecuación de oxidación - reducción:



Se divide en dos procesos, una fase luminosa que utiliza energía lumínica, la cual es absorbida por la clorofila conservándola en forma de ATP y NADPH y produciendo moléculas de oxígeno que luego son liberadas al ambiente. La fase oscura por su parte, produce la fijación de carbono donde se utilizan estas moléculas energéticas para reducir el CO_2 y formar glucosa, además de otros productos orgánicos (Arroyo Gómez, 2015).

La fijación del dióxido de carbono se realiza en el ciclo de Calvin Benson en tres etapas, que implican la condensación, reducción y regeneración, obteniendo un proceso cíclico que permite convertir continuamente el dióxido de carbono en glúcidos (Arroyo Gómez, 2015).

Tipos de fotobiorreactores utilizados para el cultivo de microalgas

Al hablar de fotobiorreactor se hace referencia a un sistema cerrado que presenta iluminación (artificial o natural), diseñado para la producción de biomasa. La eficiencia del mismo se determina en base a la captación, distribución y transporte de la luz (Ramírez Mérida y col., 2013; Singh y Sharma, 2012).

Cultivo raceway

También llamados cultivo en estanques, son los más baratos de construir ya que sólo se necesita un espacio físico dónde pueda realizarse una especie de zanja, la misma debe ser poco profunda ya que las algas necesitan exponerse a la radiación solar (Figura 5.2). Generalmente se construyen de hormigón revestido o se revisten con plástico o con fibra de vidrio, por lo cual se considera un cultivo simple, económico y con bajos costos operativos. Entre los inconvenientes respecto a su uso se pueden mencionar las limitaciones con respecto a la intensidad de luz, utilización de grandes parcelas de tierra y difusión del CO₂ a la atmósfera. Otro requerimiento del mismo es la necesidad de agitación mediante un sistema mecanizado de una rueda con 4 palas que se encuentra en una depresión en el fondo del estanque (Arbib y col., 2013; Singh y Sharma, 2012).



Figura 5.2: Cultivo raceway.
Fuente: Ozone (2017)

Fotobiorreactor vertical tubular

Está formado por tubos transparentes de vidrio o polietileno dispuestos en forma vertical, permitiendo el paso de luz (Figura 5.3). Suelen utilizarse rociadores que permiten que el dióxido de carbono se convierta en burbujas generando una buena homogeneización y transferencia de masa (Singh y Sharma, 2012). Dependiendo el modo de flujo, pueden clasificarse en:

- Columna de burbujas: El gas es burbujeado a través del rociador, tiene como ventaja un bajo costo económico al no poseer partes móviles, promoviendo una transferencia de energía y masa satisfactoria. En el caso de realizarlo a gran escala, es necesario colocar placas deflectoras para romper y distribuir homogéneamente las burbujas.
- Fotobiorreactor airlift: El gas que se burbujea se mueve hacia arriba al azar, creando un patrón de mezcla que circula desde la fase oscura a la clara, beneficiando a la biomasa, aunque es necesario tener en cuenta que resultan complejos de escalar.



Figura 5.3: Fotobiorreactor vertical tubular.
Fuente: Núñez Rivera (2017)

Fotobiorreactor de panel plano

Presenta forma de cuboide pudiendo construirse en materiales como vidrio, plexiglás, policarbonato, entre otros, proporcionando agitación por burbujeo a través de tubos perforados (Figura 5.4). En este tipo de fotobiorreactores se destaca su construcción, ya que se prioriza la gran relación superficie/volumen. En caso de querer escalar, no se recomienda alargar hacia los laterales, sino aumentar la altura del líquido (Singh y Sharma, 2012; Ramírez Mérida y col., 2013).

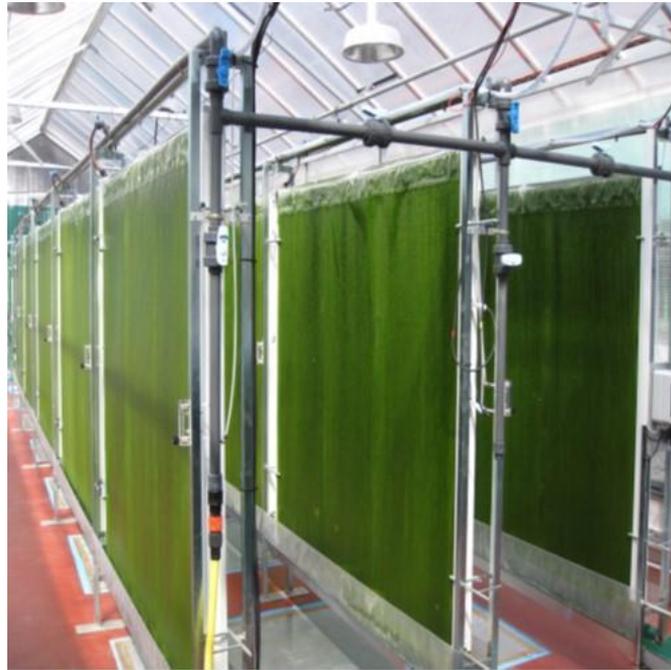


Figura 5.4: Fotobiorreactor de panel plano.
Fuente:López González (2016)

Fotobiorreactor horizontal tubular

Está formado de tubos de vidrio o plexiglass, dispuestos de manera horizontal, proporcionando ventajas en caso de cultivos al aire libre debido a que se aprovecha mejor la luz solar gracias a su disposición, siendo la misma una inclinación de pocos grados hacia el sol (Figura 5.5). Como desventaja se puede mencionar un mayor consumo de energía debido al gasto por alcanzar altas velocidades al lograr condiciones turbulentas, acumulación tóxica de O_2 y de bioincrustaciones en superficie del biorreactor (Arbib y col., 2013; Singh y Sharma, 2012).

Fotobiorreactor de tipo helicoidal

Está compuesto por un tubo transparente enrollado de polietileno, posee una unidad desgasificadora, un intercambiador de calor para el control de la temperatura y una bomba centrífuga, que conduce el cultivo hasta la unidad de desgasificación (Figura 5.6). No suele presentar inconvenientes en el escalado, pero es necesario tener en cuenta que se requerirá una bomba centrífuga de mayor potencia, lo que recae en un mayor costo energético (Singh y Sharma, 2012).



Figura 5.5: Fotobiorreactor horizontal tubular.
Fuente: López González (2016)



Figura 5.6: Fotobiorreactor de tipo helicoidal.
Fuente: Acuña Torres (2008)

Fotobiorreactor de tanque agitado

Se trata de un sistema cerrado que proporciona agitación mediante la utilización de impulsores de distintos tamaños y formas, pudiendo ser iluminado exteriormente con lámparas fluorescentes (Figura 5.7). Posee una baja relación área superficial/volumen, lo que dificulta la captación eficiente de luz (Singh y Sharma, 2012).



Figura 5.7: Fotobiorreactor de tanque agitado.
Fuente: String Fixer (2020)

Fotobiorreactor de tipo híbrido

Está formado por un sistema tipo airlift, que actúa como desgasificador, permitiendo mayores productividades, reduciendo el consumo de energía y mejorando el control del cultivo y por un bucle externo que permite la recolección de luz (Figura 5.8). Como ventaja, presenta una alta eficiencia fotosintética debido a la relación área/volumen (Singh y Sharma, 2012).

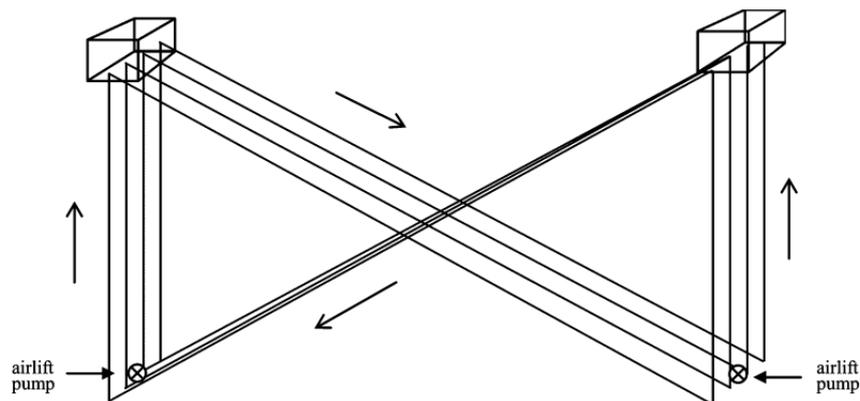


Figura 5.8: Fotobiorreactor de tipo híbrido.
Fuente: Carvalho y col. (2006)

A partir de la información anteriormente mencionada y debido a las ventajas que presenta, se decide elegir para este proyecto el reactor de tipo tubular horizontal. En el

capítulo 6 se desarrollará en mayor profundidad la utilización del mismo así como también, especificaciones técnicas relacionadas a su funcionamiento.

Descripción del proceso

Como se mencionó a lo largo de este proyecto, la empresa Jugos S.A. no implementa actualmente tratamiento alguno para los gases liberados por las calderas, sin embargo, estos gases de combustión pueden ser aprovechados como se propone en el presente trabajo.

El proceso comienza produciendo sustrato (CO_2) mediante suministro de aire y gas natural a las calderas (Figura 5.10), las mismas son del tipo humotubulares (pirotubulares) y generalmente se encuentran funcionando dos de ellas. Las calderas humotubulares son maquinarias térmicas encargadas de calentar fluidos con el objetivo de cambiar su estado mediante un proceso de combustión a través de transferencia de energía térmica generada en el mismo. Para llevar a cabo este proceso se emplea gas natural que se quema dentro de la cámara de combustión, y una vez producidos los gases, ingresan a los tubos que se encuentran ubicados dentro del tambor de agua siendo enviados hacia la chimenea y separados del vapor de agua.

Una vez que se lleva a cabo la combustión, se libera el oxígeno excedente, vapor de agua, dióxido de carbono, nitrógeno y otros gases. Los gases producidos serán burbujeados en el agua residual contenida en el fotobiorreactor, siendo utilizados como sustrato para la producción de microalgas inoculadas. Luego de su producción, deberá realizarse una etapa de downstream mediante la cual se separará la biomasa del medio de cultivo a través de centrifugación.

Esta iniciativa se va a desarrollar en un espacio verde lindante a la empresa, el mismo se puede visualizar en la figura 5.9. Dicho espacio cuenta con unas medidas de 80 m de ancho por 50 m de largo, obteniendo de esta forma un terreno disponible de 4000 m^2 .

El proceso comienza, como se mencionó anteriormente, con los productos liberados por la caldera; por una parte, el vapor de agua se utilizará en los procesos nombrados en el Capítulo 4, mientras el resto de los gases liberados serán tratados mediante su utilización en el cultivo de microalgas. Entre los mismos, se encuentran tanto monóxidos como dióxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, y oxígeno. Los caudales correspondientes fueron provistos por la empresa y se detallan en el cuadro 5.2. Las mediciones fueron efectuadas In Situ con un equipo portátil Marca TESTO Modelo 350 XL. Dicho equipo se encontraba certificado y homologado por la EPA para efectuar las mediciones de referencia. La metodología de análisis fue la EPA CTM 022/030. Las mediciones fueron efectuadas



Figura 5.9: Plano de la empresa con las localizaciones de cada lugar
 En rojo la localización propuesta del fotobiorreactor, en amarillo las chimeneas de las calderas y en azul las bombas de impulsión de las aguas residuales.
 Fuente: Google Maps.

por triplicado sobre la chimenea de la caldera. La determinación de las concentraciones de los gases fue efectuada a partir de un orificio para muestreo ubicado en la chimenea de la caldera, aproximadamente a 8 m de altura.

Cuadro 5.2: Promedio de valores de gas emitidos en una hora por dos de las calderas de Jugos S.A.

	NO _x [mg/Nm ³]	CO ₂ [%]	SO ₂ [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]	O ₂ [%]	Combustible
Promedio de calderas	247,1	11,85	29,5	536,25	5,1	Gas Natural

Si bien las lagunas donde se realiza el tratamiento de aguas residuales en la empresa se encuentra en un predio separado de la misma, las cañerías que conducen los efluentes tienen paso dentro del espacio verde donde se encontrará el fotobiorreactor, por lo tanto, se plantea la idea de realizar una extracción desde las mismas a través de una modificación del diseño hidráulico al agregar una cañería en forma de 'T'. Una vez extraída el agua será conducida hacia el fotobiorreactor, que deberá contar con un tanque principal donde se alojará el inóculo, junto con las aguas residuales. Las mismas serán burbujeadas por los gases de combustión, que serán conducidos hacia el tanque del fotobiorreactor a través de un compresor de tornillo.

Para el tratamiento de los gases, es necesario realizar un precultivo de la microalga elegida, el mismo será iniciado por personal capacitado en el laboratorio de la empresa. Jugos. S.A tiene como proyecto incorporar a corto plazo un replicador de levaduras que se utilizará en el proceso de producción de sidra, por lo tanto, se plantea la idea de realizar un proceso similar para la obtención del precultivo de la microalga, teniendo en cuenta que en este caso deberá contar con ciclos de luz y oscuridad. Una vez obtenida la biomasa, se procederá a inocularla en el fotobiorreactor para comenzar con el cultivo de la clorófito y el tratamiento de las emisiones de las calderas. Finalizado el proceso, se plantea el inicio de la etapa de downstream a través de la utilización de una centrifuga de la cual se obtendrá por un lado la biomasa y por otro el medio de cultivo.

Diferentes autores han realizado investigaciones acerca de la reducción de la materia orgánica durante el proceso, obteniendo una disminución de la misma debido a la existencia de consorcios bacterianos presentes en las aguas residuales. Con el objetivo de confirmar la reducción de la materia orgánica, posterior a la separación, será necesario realizar análisis fisicoquímicos para obtener datos reales de la calidad del agua obtenida durante el proceso; en caso de cumplir con los límites de vertido, podrán ser direccionadas a los cursos de agua, de lo contrario, deberán ser enviadas nuevamente a las lagunas de tratamiento (Olarte Gómez y Valencia Giraldo, 2016; Vacca Jimeno y col., 2017). Por otra parte, a partir de la biomasa generada se pueden obtener una gran variedad de bioproductos, los mismos se encuentran detallados en el capítulo 3.

Optimización de recursos

Como se trata en este capítulo, el proceso no posee muchos equipos que necesitan optimizar recursos. Sin embargo, dado las condiciones ambientales en algunas épocas del año, las temperaturas pueden fluctuar hasta los 45°C afectando el crecimiento de la microalga, por lo que resulta necesario controlar la temperatura del fotobiorreactor. Tan y col. (2021) propusieron el control de la misma a partir del rocío manual de agua fría durante 25 minutos por 4 o 5 veces al día, durante los meses de verano. Si bien es una buena estrategia para controlar la temperatura, el desperdicio de agua que se genera es considerable, por lo tanto, resulta necesario poder implementar estrategias más amigables con el medio ambiente. Nwoba y col. (2019) mencionan tres métodos diferentes para el control de la misma. La primera que menciona es la construcción de un fotobiorreactor a partir de un material absorbente llamado perovskita (trióxido de titanio y calcio), que posee propiedades de absorción y alta transparencia en el espectro visible, generando

bajos costos y alta eficiencia. Al utilizar este material, se optimiza los recursos disponibles, mejorando además la productividad fotosintética de las microalgas.

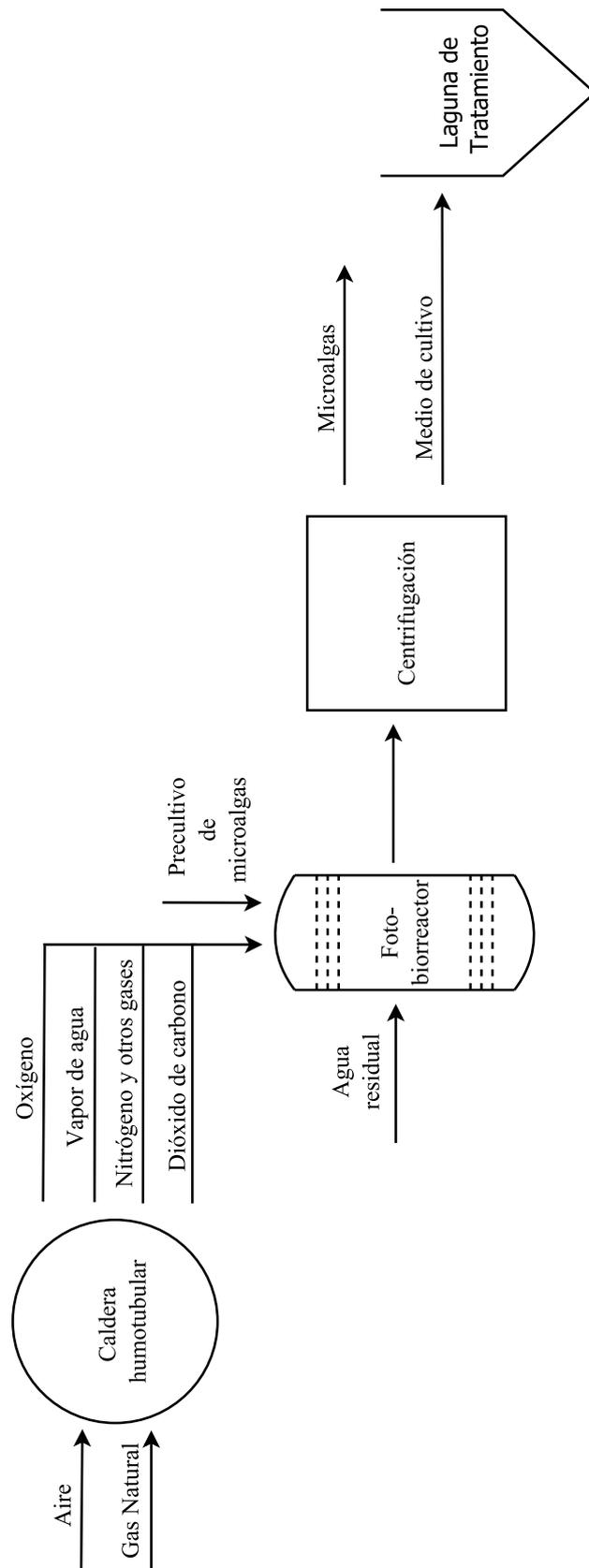


Figura 5.10: Diagrama de flujo
Fuente: Producción propia.

La segunda opción propuesta es la utilización de materiales a base de poliéster delgados, donde, dependiendo del nivel de transparencia, bloquean las radiaciones IR y UV permitiendo el paso de luz visible. Si bien es un material de uso corriente y económico, aún no ha sido ampliamente experimentado en fotobiorreactores.

La tercera opción planteada es la utilización de vidrio intercambiable de polivinil butiral, que permite la transmisión de energía solar al utilizar láminas sólo de vidrio o combinando vidrio con plástico, a través de la aplicación de un voltaje eléctrico. Cuando se aplica voltaje, el material se vuelve transparente, permitiendo el paso de todas las longitudes de onda; en caso de no aplicar tensión eléctrica, el cristal permite la transmisión de luz de forma difusa al interior del fotobiorreactor.

Si bien la propuesta realizada para el armado del fotobiorreactor es utilizar los tubos de vidrios ofrecidos por la empresa SCHOTT (empresa líder mundial en el área de vidrios especiales), quedará a disposición de Jugos S.A evaluar las propuestas descriptas anteriormente y concretar la elección del material del mismo.

Capítulo 6

Diseño del proceso

Tanto en la figura 6.9, como en el anexo C se puede observar en general el proceso propuesto para este trabajo. Los equipos involucrados en el mismo se detallan a continuación. Las ecuaciones de diseño se pueden observar en el anexo D.

Diseño de equipos

Fotobiorreactor

El diseño de la planta propuesta en este proyecto incluye la incorporación de un sistema de cultivo cerrado el cual presenta las siguientes ventajas frente a los sistemas abiertos (Schott, 2022).

- Productividad significativamente mayor.
- Menor riesgo de contaminación.
- Bajo consumo de agua.
- Uso reducido del espacio.
- Excelente pureza de la biomasa (calidad alimentaria).
- Alta reproducibilidad de los resultados.
- Volumen de producción constante y predecible.
- Cosecha rentable gracias a una mayor concentración de algas.

- Posibilidad de cambiar fácilmente las algas cultivadas.

El fotobiorreactor elegido es de tipo tubular (Figura 6.1), ya que son los sencillos de escalar y debido a su diseño, pueden orientarse fácilmente hacia el sol logrando una conversión energética eficiente. Al estar contruidos a través de tubos pueden abarcar grandes volúmenes de producción sin contaminar el cultivo, minimizando los costos de inversión y manteniendo bajo control las condiciones de cultivo (Ramírez Mérida y col., 2014).

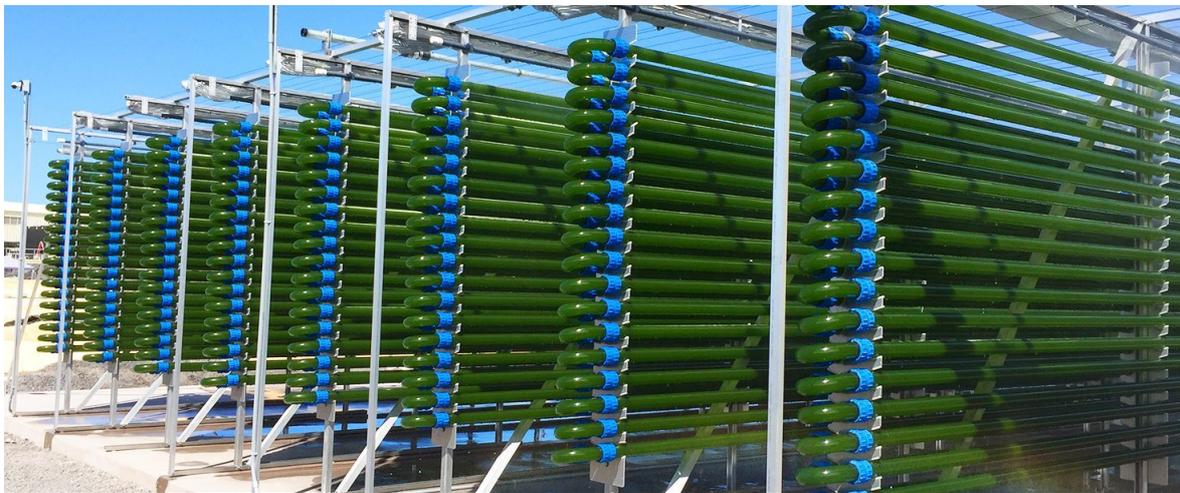


Figura 6.1: Fotobiorreactor tubular.

Fuente: Varicon aqua (2022)

Teniendo en cuenta el caudal de gases de efecto invernadero a tratar y el terreno disponible en la empresa, se propone que el reactor posea un volumen de 315 m^3 compuesto por tubos horizontales de 10 cm de diámetro fabricados por la empresa SCHOTT (Anexo A), los mismos estarán unidos entre sí logrando una longitud total por vuelta de 130,90 m. El volumen del mismo se repartirá en 31 líneas (Ver Plano Fotobiorreactor vista superior, anexo C) de diez tubos cada una (Ver Plano Fotobiorreactor vista lateral, anexo C), las mismas se encuentran unidas entre sí siendo el cultivo impulsado para su recirculación a través de una bomba. El reactor deberá contar con un tanque principal de 25 m^3 donde se depositará el inóculo junto con el agua residual, para luego ingresar al circuito mencionado anteriormente.

La ubicación y posición del reactor se propone como se muestra en el Plano de la planta vista superior, anexo C para optimizar el espacio disponible. Se sugiere que el tanque se coloque en esa posición ya que la toma de aguas residuales se encuentra cercana

a él y además, no aumentar su tamaño verticalmente ya que comenzaría a impedir el paso eficiente de luz solar, afectando su correcto funcionamiento.

Compresor de tornillo libre de aceite y con enfriamiento por aire

El objetivo de su utilización es el desplazamiento de los gases de salida de la caldera hacia el fotobiorreactor para ser tratados durante el cultivo de microalgas (Anexo A). Se propone la incorporación del equipo con mayor capacidad (caudal 14,07 – 51,11 m³/min) ya que, a futuro y con visión al tratamiento completo de los gases, podría procesar la totalidad de los mismos en base a una caldera (Figura 6.2).



Figura 6.2: Compresor de tornillo.
Fuente: Kaeser

Bombas hidráulicas

Para realizar los cálculos necesarios para estimar la potencia y caudal de las bombas, se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

- Reynold (turbulento, para impedir el estancamiento de las microalgas)
- Viscosidad del medio de cultivo (1 cP)
- Diámetro propuesto (10 cm, coincidente con el diámetro de los tubos propuestos por SCHOTT)

- Rugosidad del material a utilizar (0,0015 mm) (Walski y col., 2002).
- Distancia de traslado del cultivo (largo)
- Densidad del medio de cultivo (1.147,7 kg/m³)
- Eficiencia de la bomba (75 %)
- Gráfico de Moody (Anexo B)

Bomba de impulsión de agua residual

Se plantea la incorporación de la misma para el desplazamiento de las aguas residuales desde la toma de agua residuales propuesta en el Capítulo 5 hasta el fotobiorreactor. A continuación se mencionan las características necesarias:

Cuadro 6.1: Especificaciones de la bomba.

Características	Capacidad
Diámetro [pulgadas]	4
Caudal [m ³ /h]	31,16
Potencia [HP]	1,21

Bomba de impulsión tanque - fotobiorreactor

El objetivo de su utilización es el bombeo del medio de cultivo junto con el inóculo desde el tanque hasta el inicio del fotobiorreactor, para su posterior circulación. A continuación se mencionan las características necesarias:

Cuadro 6.2: Especificaciones de la bomba.

Características	Capacidad
Diámetro [cm]	10
Caudal [m ³ /h]	24,63
Potencia [HP]	0,48

Bomba de impulsión fotobiorreactor

Como se mencionó anteriormente, una vez que el cultivo haya finalizado con una de las etapas (exceptuando la última), se enviará hacia la siguiente. Para cubrir el cultivo completo se necesitarían incorporar 30 bombas con las siguientes características.

Cuadro 6.3: Especificaciones de la bomba.

Características	Capacidad
Diámetro [cm]	10
Caudal [m ³ /h]	24,63
Potencia [HP]	0,44

Bomba de impulsión hacia la recirculación del fotobiorreactor o hacia la centrífuga

La incorporación de esta bomba tendrá como objetivo la impulsión del cultivo hacia el tanque para poder realizar la recirculación del mismo, o, en el caso de que haya finalizado, enviarlo hacia la centrífuga para comenzar con la etapa de downstream.

Cuadro 6.4: Especificaciones de la bomba.

Características	Capacidad
Diámetro [cm]	10
Caudal [m ³ /h]	24,63
Potencia [HP]	6,74

Bomba centrífuga - aguas residuales

El objetivo de la incorporación de esta bomba es enviar el medio de cultivo ya separado de la biomasa hacia la toma de aguas residuales mencionada anteriormente, para que sea enviada luego hacia las piletas de tratamiento.

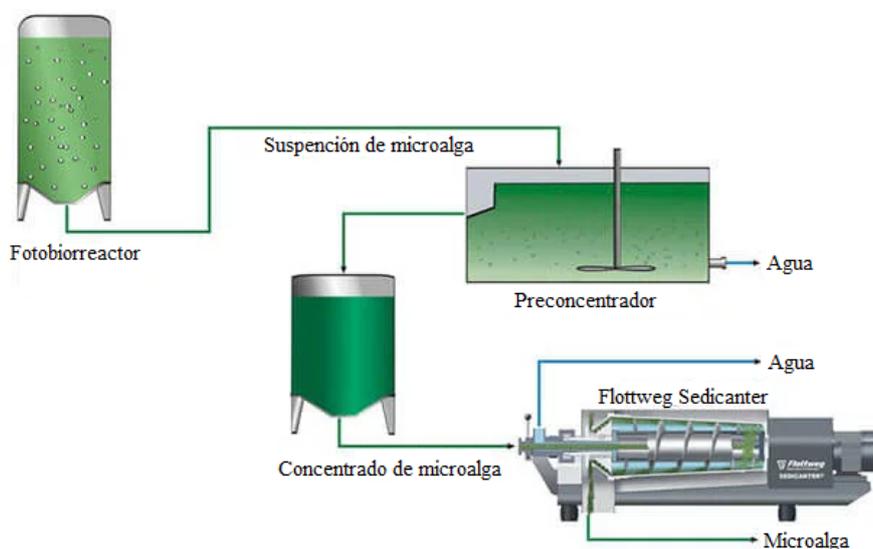
Cuadro 6.5: Especificaciones de la bomba.

Características	Capacidad
Diámetro [pulgadas]	4
Caudal [m^3/h]	3,11
Potencia [HP]	1

Proceso de separación

Para el proceso de separación se propone la tecnología brindada por la empresa Flottweg (Anexo A).

En este proceso se plantean dos etapas (Figura 6.3): en primer lugar, se concentran las microalgas producidas en el fotobiorreactor y posteriormente, el concentrado se dirige al Sedicanter, donde se recolectan las células. Este deshidrata el concentrado obteniendo una torta sólida con un contenido de materia seca del 22-25 %, pudiendo procesar un volumen de $120 m^3/h$, con una velocidad máxima de 7750 rpm.

**Figura 6.3:** Proceso de obtención de biomasa seca.

Fuente: Flottweg (2022)

Entre las ventajas adjudicadas a este proceso se puede mencionar la posibilidad de reducir un 60 % los costos de operación, dado que se elimina una gran cantidad de agua

en el preconcentrador y además, disminuir los costos de inversión hasta un 25 %.

Balances asociados al proceso

En el capítulo anterior se describió el proceso completo para la producción de microalgas mediante la utilización de los gases provenientes de la caldera. Para poder determinar la cinética de consumo de los gases, producción de biomasa y el volumen del fotobiorreactor fue necesario realizar un modelo matemático que incluye balances de masa, parámetros cinéticos, termodinámicos, microbiológicos y datos brindados por la empresa acerca de la cantidad de gases a tratar, el mismo fue resuelto mediante la utilización del software *R.Studio*. *R* es un lenguaje de programación que nos permite resolver diferentes tipos de problemas mediante la ejecución de un código ingresado por el programador, utilizando el software libre *R.Studio*. La elección del mismo se basó en la simplicidad de su manejo y en la posibilidad de poder resolver ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) a través de la escritura de los balances correspondientes. Además, permite observar a partir de gráficos cómo se comporta el microorganismo con respecto a su crecimiento y al consumo de los gases tratados. A continuación, se describen las ecuaciones y parámetros utilizados.

Balances de masa

A continuación se describirán los balances de masa correspondientes al trabajo propuesto. En el cuadro 6.7 puede observarse un resumen de los parámetros involucrados en las ecuaciones con sus correspondientes unidades.

Biomasa

La ecuación 6.1 describe la generación de biomasa con respecto al tiempo. Esta variación dependerá del volumen del reactor y de la tasa volumétrica de formación de biomasa.

$$\frac{dm_B}{dt} = r_B \cdot V \quad (6.1)$$

Dióxido de carbono

La ecuación 6.2 describe el consumo de dióxido de carbono con respecto al tiempo. Esta variación dependerá del volumen del reactor, de la tasa volumétrica de consumo de

dióxido de carbono, de su concentración de entrada y salida, así como también, del caudal total del gas.

$$\frac{dm_{CO_2}}{dt} = r_{CO_2} \cdot V + C_{eCO_2} \cdot F_{eT} - C_{sCO_2} \cdot F_{eT} \quad (6.2)$$

Nitrógeno

La ecuación 6.3 describe el consumo de nitrógeno con respecto al tiempo. Esta variación dependerá del volumen del reactor, de la tasa volumétrica de consumo de nitrógeno, de su concentración de entrada y salida, así como también, del caudal total del gas.

$$\frac{dm_N}{dt} = r_N \cdot V + C_{eN} \cdot F_{eT} - C_{sN} \cdot F_{eT} \quad (6.3)$$

Volumen

La ecuación 6.4 representa la variación del volumen con respecto al tiempo. El mismo dependerá del caudal provisto por la bomba, la densidad del medio de cultivo, y la concentración tanto inicial como final de biomasa.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_b}{\rho} \cdot (C_B - C_{B0}) \quad (6.4)$$

En el balance de dióxido de carbono y de nitrógeno el termino de salida del gas fue considerado cero, ya que en el delta acumulación se representa el gas que sera liberado a la atmósfera a través de la válvula de escape para mantener una presión constante.

Tasas de generación y consumos

Biomasa

La ecuación 6.5 representa la tasa volumétrica de generación de biomasa. La misma depende de la constante específica de generación y muerte celular, así como también de la biomasa que se genera.

$$r_B = \mu_g \cdot C_B - k_d \cdot C_B \quad (6.5)$$

Dióxido de carbono

La ecuación 6.6 representa la tasa volumétrica de consumo de dióxido de carbono. La misma depende de la constante específica de generación celular, del rendimiento del gas

con respecto a la biomasa, y de la concentración generada de la misma.

$$r_{CO_2} = -Y_{CO_2B} \cdot \mu_g \cdot C_B \quad (6.6)$$

Nitrógeno

La ecuación 6.7 representa la tasa volumétrica de consumo de nitrógeno. La misma depende del rendimiento del nitrógeno respecto a la biomasa, la constante específica de generación celular, así como también de la concentración de biomasa que se generará.

$$r_N = -Y_{NB} \cdot \mu_g \cdot C_B \quad (6.7)$$

Modelo cinético

La ecuación 6.8 representa la tasa específica de generación de biomasa. La misma depende de la tasa máxima de crecimiento, de la concentración de cada uno de los gases tratados y de la radiación solar recibida por el cultivo. También se tienen en cuenta las constantes asociadas a cada uno de los sustratos.

$$\mu_g = \mu_{max} \cdot \frac{C_N}{C_N + K_{SN}} \cdot \frac{C_{CO_2}}{C_{CO_2} + K_{SCO_2}} \cdot \frac{F_I}{F_I + K_I} \quad (6.8)$$

Caudales

Luz

La ecuación 6.9 representa la variación sinusoidal de la luz según el tiempo, teniendo en cuenta los momentos de luz y oscuridad correspondientes.

$$F_I = 1200 \cdot \text{sen}(0,26 \cdot t) \quad (6.9)$$

Caudal total

La ecuación 6.10 representa la totalidad de los gases tratados. Se describe a través de una ecuación sinusoidal debido a que el volumen de los mismos varía dependiendo el nivel de producción de la empresa.

$$F_{eT} = 25 \cdot \text{sen}(0,03 \cdot t) \quad (6.10)$$

Parámetros cinéticos de la microalga

Cuadro 6.6: Parámetros de la microalga.

Parámetro	Valor	Unidades	Referencias
μ_{max}	0,075	$\frac{1}{h}$	(Lee y col., 2015)
K_{SCO_2}	260	$\frac{mg}{m^3}$	(Lee y col., 2015)
K_{SN}	31.500	$\frac{mg}{m^3}$	(Lee y col., 2015)
Y_{BCO_2}	0,5	$\frac{mg_B}{mg_{CO_2}}$	(Lee y col., 2015)
Y_{BN}	6,7	$\frac{mg_B}{mg_N}$	(Lee y col., 2015)
K_I	708	lux	(Martinez y col., 1997)
k_d	0,002	$\frac{1}{h}$	(Lee y col., 2015)
F_b	246,34	$\frac{m^3}{h}$	Cálculo propio teniendo en cuenta el volumen del fotobiorreactor
C_{B0}	10	$\frac{mg}{m^3}$	Establecido en base a la cantidad que se desea producir

Para la resolución del modelado matemático, el volumen inicial del fotobiorreactor se fijó en $100 m^3$, con un inóculo inicial de biomasa de $10 \frac{mg}{m^3}$, presión constante y además se consideró que los gases no consumidos por la microalga serán venteados por la válvula de escape.

Cuadro 6.7: Variables correspondientes a los balances de masa

Parámetro	Descripción	Unidades
C_N	Concentración de nitrógeno limitante del crecimiento	$\frac{mg}{m^3}$
C_{B0}	Concentración de biomasa inicial	$\frac{mg}{m^3}$
C_B	Concentración de biomasa	$\frac{mg}{m^3}$
C_{CO_2}	Concentración de dióxido de carbono limitante del crecimiento	$\frac{mg}{m^3}$
C_{eCO_2}	Concentración de dióxido de carbono a la entrada	$\frac{mg}{m^3}$
C_{eN}	Concentración de nitrógeno a la entrada	$\frac{mg}{m^3}$
C_{sCO_2}	Concentración de dióxido de carbono a la salida	$\frac{mg}{m^3}$
C_{sN}	Concentración de nitrógeno a la salida	$\frac{mg}{m^3}$
F_b	Caudal correspondiente a la bomba	$\frac{m^3}{h}$
F_{eT}	Caudal de entrada total de los gases de caldera	$\frac{m^3}{h}$
F_I	Iluminancia	lux
K_{SN}	Constante asociada al nitrógeno	$\frac{mg}{m^3}$
K_{CO_2}	Constante asociada al dióxido de carbono	$\frac{mg}{m^3}$
K_I	Constante asociada a iluminancia	lux
Y_{CO_2B}	Rendimiento de dióxido de carbono con respecto a biomasa	$\frac{mg_B}{mg_{CO_2}}$
Y_{NB}	Rendimiento de nitrógeno con respecto a la biomasa	$\frac{mg_B}{mg_N}$
k_d	Constante asociada a la muerte celular	$\frac{1}{h}$
m_B	Masa de biomasa	mg Biomasa
m_{CO_2}	Masa de dióxido de carbono	mg Dióxido de carbono
m_N	Masa de nitrógeno	mg de Nitrógeno

Parámetro	Descripción	Unidades
r_B	Tasa volumétrica de generación de biomasa	$\frac{mg}{h.m^3}$
r_{CO_2}	Tasa volumétrica de consumo de dióxido de carbono	$\frac{mg}{h.m^3}$
r_N	Tasa volumétrica de consumo de nitrógeno	$\frac{mg}{h.m^3}$
μ_g	Velocidad específica de generación de biomasa	$\frac{1}{h}$
μ_{max}	Velocidad específica máxima de crecimiento de biomasa	$\frac{1}{h}$
ρ	Densidad del medio de cultivo	$\frac{mg}{m^3}$

Balance de energía

Como se mencionó anteriormente, el diseño de la planta necesitará la incorporación de algunos equipos en sus diferentes etapas, a continuación se detallará el balance de energía general (Smith y col., 2007) a partir del cual se obtendrán los balances teóricos correspondientes a cada equipo.

$$Q - W = \dot{m}[\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta \hat{H}] \quad (6.11)$$

Bombas hidráulicas

El balance de energía que se muestra a continuación se plantea de forma teórica y aplica para todas las bombas hidráulicas requeridas para este proyecto. Para su resolución se realizaron las siguientes suposiciones:

- Estado estacionario
- Volumen de entrada y salida aproximadamente iguales
- Temperatura de entrada y salida aproximadamente iguales
- Diámetro de entrada y salida iguales
- Caudal másico de entrada y salida aproximadamente iguales
- Densidad de entrada y salida aproximadamente iguales

- Altura de entrada y salida aproximadamente iguales

$$-W = \dot{m}[-P_2 \cdot V_2 + P_1 \cdot V_1] \quad (6.12)$$

Compresor a tornillo para gases

El balance que se muestra a continuación se plantea de forma teórica para el compresor que será el encargado de transportar los gases de la caldera al fotobiorreactor. Para su resolución se realizaron las siguientes suposiciones:

- Diámetro de entrada y salida iguales
- Caudal másico de entrada y salida aproximadamente iguales
- Densidad de entrada y salida aproximadamente iguales

$$-W = \dot{m}[\Delta E_c + \Delta \hat{H}] \quad (6.13)$$

Procesamiento posterior

El balance que se muestra a continuación se plantea de forma teórica la etapa de procesamiento posterior que será la encargada de separar la microalga del medio de cultivo. Para su resolución se realizaron las siguientes suposiciones:

- Alturas de entrada y salida iguales.
- Intercambio de calor con el medio y la separación.
- Pérdida de calor por la separación.

$$Q - W = \dot{m}[\Delta E_c + \Delta \hat{H}] \quad (6.14)$$

Cuadro 6.8: Variables correspondientes a los balances de energía

Parámetro	Descripción	Unidades
Q	Cantidad de energía transferida al sistema como calor	<i>Joules</i>
W	Trabajo neto realizado sobre el sistema	<i>Joules</i>
\dot{m}	Caudal másico	$\frac{kg}{s}$
ΔE_c	Variación de energía cinética	<i>Joules</i>
ΔE_p	Variación de energía potencial	<i>Joules</i>
$\Delta \hat{H}$	Variación de entalpía	<i>Joules</i>
P	Presión	<i>Pa</i>
V	Volumen	m^3

Resultados de simulación

Se realizó una simulación a través de *R.Studio* teniendo en cuenta tanto los balances de masa, tasa de generación y consumo como el modelo cinético utilizado para describir la microalga.

Las gráficas mostradas a continuación representan la cinética de producción de la microalga (Figura 6.4), el consumo de los gases de caldera (Figura 6.5), la variación de la luz durante los días de cultivo (Figura 6.7) así como también, la variación del caudal de gases teniendo en cuenta la producción de la empresa (Figura 6.6). Este último se aproxima a través de una función sinusoidal, donde se considera que los primeros días de la semana el caudal aumenta llegando a un máximo, comenzando a disminuir en días cercanos al final de la semana. La variación de la luz solar se aproximó de la misma manera, teniendo en cuenta 14 ciclos de luz y oscuridad.

La producción de biomasa (Figura 6.4), tendrá una fase de latencia de 220 horas aproximadamente, correspondiente a la adaptación de la microalga al medio de cultivo. Luego comienza su duplicación entrando en fase exponencial hasta 300 horas, donde, a partir de ese momento, se logra un equilibrio entre la inyección y consumo de sustratos, comenzando a presentarse la fase estacionaria.

Para llevar a cabo el cultivo se propone la utilización del inóculo inicial que se observa en el cuadro 6.6, obteniendo una biomasa final de 1711,66 kg en base húmeda. Como se mencionó en el capítulo 3, la microalga elegida posee una gran variedad de aplicaciones. Se

plantea a la empresa la posibilidad de la elección de las mismas dependiendo la rentabilidad deseada y el capital que se desee invertir.

En cuanto al consumo de los gases a tratar (Figura 6.5), se observa una tendencia del nitrógeno a aumentar su concentración, esto se debe a que el 79% del total de los gases liberados por las calderas y tratados a través del cultivo de microalgas pertenecen a nitrógeno, por lo tanto, el mismo se encuentra en exceso y no podría ser consumido en su totalidad, teniendo que ser luego liberado a la atmósfera a través de la válvula de escape del fotobiorreactor. Con respecto al dióxido de carbono, la concentración del mismo aumentará hasta que las microalgas logren adaptarse al medio de cultivo, y una vez finalizada esta etapa, entrarán en fase exponencial logrando un equilibrio entre inyección y consumo del gas cercano a las 300 horas, liberando posteriormente el oxígeno producido a través de la fotosíntesis de la microalga, siendo este un gas no perjudicial para el medioambiente.

El volumen final del fotobiorreactor correspondiente al cultivo se estimó en $251,8 \text{ m}^3$ a través de la simulación. Se sabe por bibliografía que los reactores no deben llenarse hasta su volumen máximo, por lo tanto, se considera que el cultivo debe ocupar como máximo un 80% del mismo (volumen correspondiente a la simulación) (Doran, 1998). Teniendo en cuenta lo mencionado, el volumen total del fotobiorreactor se estimó en 315 m^3 .

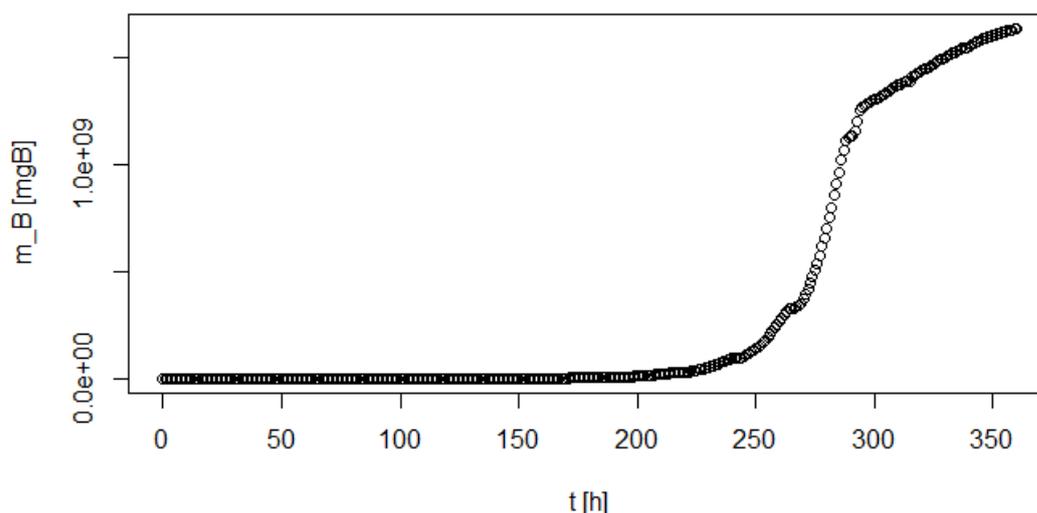


Figura 6.4: Producción de biomasa.
Fuente: Producción propia

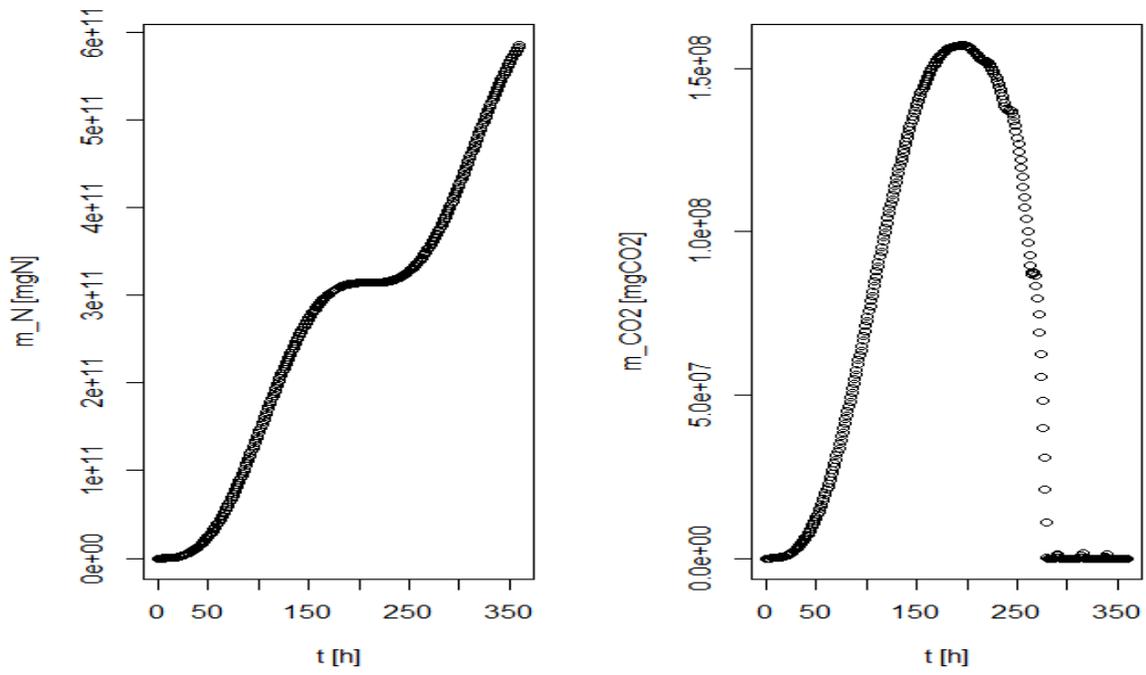


Figura 6.5: Venteo de Dióxido de Carbono y Nitrógeno.
Fuente: Producción propia

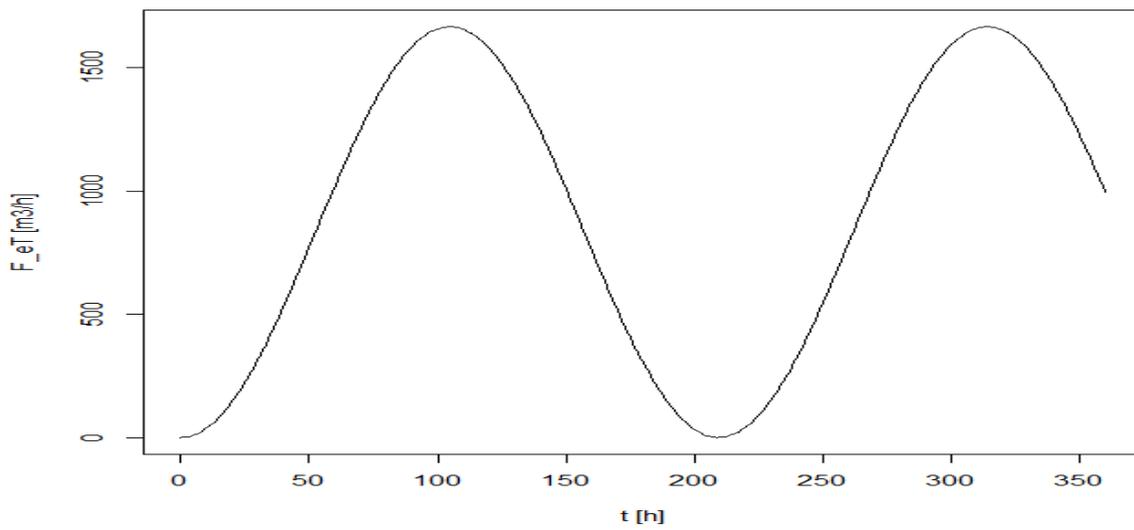


Figura 6.6: Caudal de gas.
Fuente: Producción propia

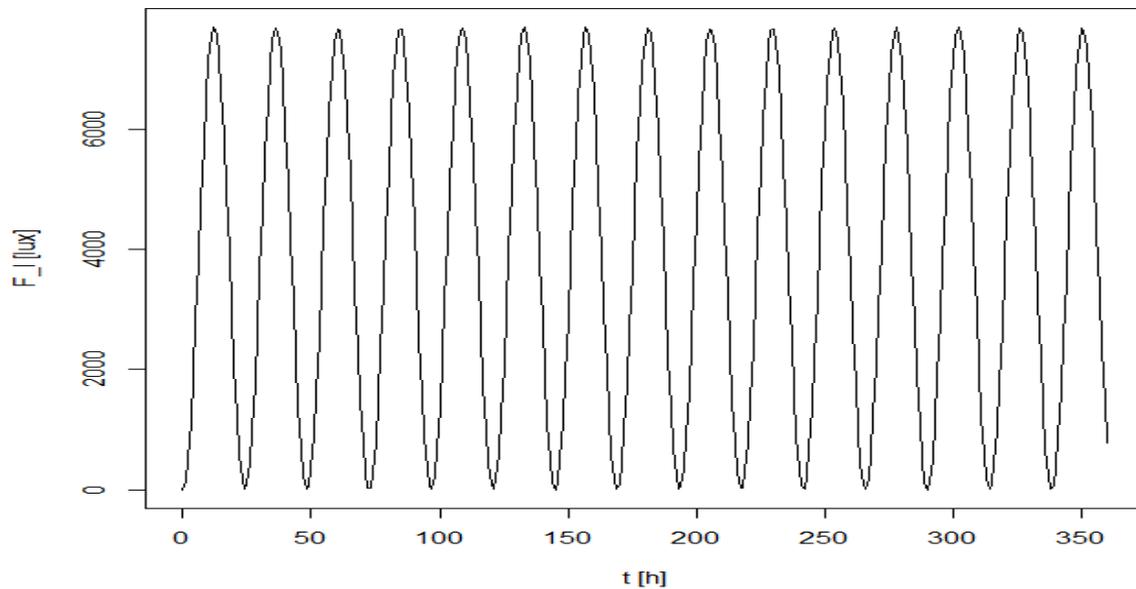


Figura 6.7: Iluminancia.
Fuente: Producción propia

Comparación

El proveedor del fotobiorreactor dispone vía web de una calculadora virtual que, a partir de las toneladas anuales y la microalga que se desea producir, arroja un resultado aproximado de los m^3 necesarios para la producción, así como también el terreno para su instalación (Schott, 2018). Además, esta herramienta brinda un rango de precio que puede costar el fotobiorreactor.

Con la finalidad de confirmar el resultado obtenido por simulación, se introdujo en la calculadora de Schott la biomasa obtenida por simulación y la microalga elegida.

SCHOTT PBR Calculator: Your result

The SCHOTT PBR Calculator has generated the following results for your data:

1. Photoactive volume

You need a tubular glass photobioreactor with a photoactive volume of:

269 m³

Figura 6.8: Schott PBR Calculadora resultados.
Fuente: Schott (2018)

Como se puede ver en la figura 6.8, el volumen fotoactivo del biorreactor calculado por la herramienta virtual de SCHOTT es de 269 m³. El resultado obtenido a través de la simulación realizada fue de 251,8 m³, obteniendo un error de 6,02 %, lo que refleja resultados acertados en el diseño del mismo.

Layout de la Planta

En la imagen que pueden observarse a continuación, se muestra un plano general de la planta con la ubicación de cada uno de los equipos que se propone utilizar. Cabe destacar que se propone la posición del reactor en ese lugar ya que la toma de aguas residuales se encuentra muy cercana a él, optimizando de esta manera el espacio disponible. La etapa de procesamiento posterior se diseñó cercana al fotobiorreactor con el objetivo de evitar costos económicos extras, ya que se propone que la bomba utilizada para la recirculación hacia el fotobiorreactor se utilice también para transportar el cultivo al preconcentrador, y una vez realizada la separación, trasladar la fase líquida hacia la cañería que dirige las aguas hasta las piletas de tratamiento.

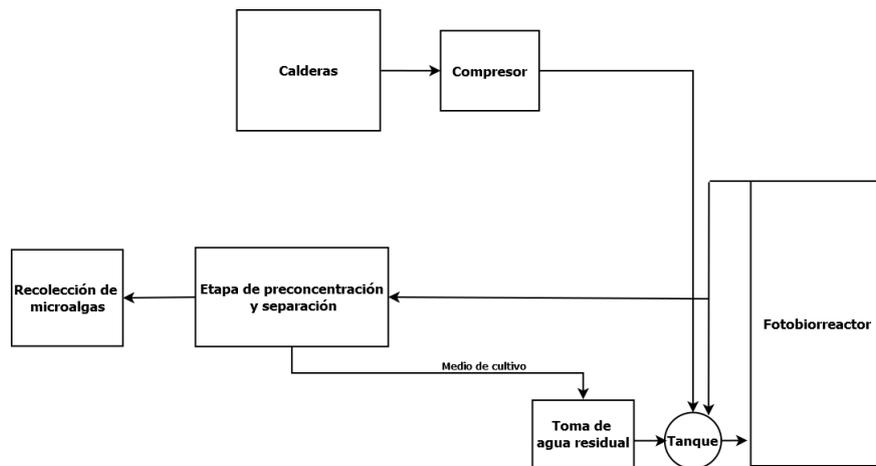


Figura 6.9: Layout general de la planta.
Fuente: Producción propia

Capítulo 7

Higiene y Seguridad

En este capítulo se detallarán ciertos aspectos a tener en cuenta respecto a la seguridad e higiene, tanto de la planta de microalgas como de los operadores que estarán involucrados en el proceso. Es necesario recalcar que la planta se construirá en una empresa que ya está constituida, por lo tanto, muchas de las medidas respecto a la seguridad e higiene ya se encuentran contempladas dentro de la misma.

Limpieza del fotobiorreactor

Limpieza interior

SCHOTT sugiere la utilización de los siguientes productos químicos para la limpieza de sus fotobiorreactores. La misma debe realizarse al finalizar cada ciclo de producción.

Cuadro 7.1: Productos químicos para la limpieza del fotobiorreactor

Agente	Fórmula química	Concentración	Temperatura
Ácido cítrico	$C_6H_8O_7$	1 %	40 °C
Peróxido de hidrógeno	H_2O_2	6 %	40 °C
Hidróxido de Sodio	NaOH	4 %	40 °C
Acido Clorhídrico	HCl	3,6 %	40 °C
Agua Salada	NaCl	4 %	40 °C

Los agentes nombrados anteriormente deben ser acompañados por una esponja que no marque el vidrio y que permita realizar una limpieza correcta tanto en las partes rectas, como en las uniones en forma de U.

Limpieza exterior

En cuanto a la limpieza exterior del fotobiorreactor, la empresa recomienda la utilización de hidrolavadora, manteniendo una distancia prudencial hacia el borosilicato para evitar que sufra algún daño. Si existe suciedad que no se pueda eliminar, se puede utilizar limpiador de vidrios doméstico. Si existiesen casos en los cuales la contaminación persiste, será necesario utilizar limpiadores industriales adaptados, con previa aprobación de la empresa.

Medidas de seguridad necesarias para la utilización del fotobiorreactor

SCHOTT, una de las empresas líderes en la fabricación de fotobiorreactores, recomienda la siguientes medidas de seguridad para la instalación de los mismos.

- Asegurarse de que la presión de funcionamiento no supere los 2 bar
- Evitar estallidos de presión de las bombas
- No permitir que los extremos de los tubos entren en contacto entre sí
- Asegurarse de que los extremos de los tubos y los acoplamientos se encuentren libres de cualquier tipo de arena o material abrasivo que pueda rayar la superficie del vidrio al comenzar con el armado del fotobiorreactor
- Evitar contacto metal-vidrio. Se recomienda que el soporte del fotobiorreactor esté forrado por un material blando. Así mismo, desarrollaron una guía en la cual se especifica la manera correcta de instalar el fotobiorreactor (Anexo A).

Matafuegos aptos para el proceso

Extintores a base de polvo químico seco (ABC): Son efectivos contra los fuegos de tipo A, B y C, los mismos se producen a través de combustibles sólidos (madera, papel, plásticos), líquidos inflamables (combustibles, grasas, aceites, etc) o a partir de equipamientos eléctricos, respectivamente.

Extintores a base de polvos especiales (D): Son utilizados ante la presencia de metales. Se presentan con el mismo formato que los extintores utilizados comúnmente, así como también, en forma de bolsa para poder ser espolvoreados con pala.

Para el caso particular de este proyecto, se recomienda la utilización e instalación de matafuegos sobre ruedas. Esto se debe a que la planta de microalgas estará instalada al aire libre, sin la presencia de paredes, ya que las mismas impedirían el paso de luz solar hacia el fotobiorreactor, inhibiendo el crecimiento de la microalga. Se recomienda la instalación de un matafuego cada veinte metros de distancia, por lo tanto, se necesitarán ocho matafuegos para cubrir el total del terreno cedido por la empresa.

Elementos de Protección Personal

Los elementos de protección personal (EPP) son los encargados de proteger al trabajador de accidentes o incidentes que puedan poner en riesgo la integridad del mismo. Los EPP básicos y necesarios para este tipo de trabajo se mencionan a continuación:

- Protección para ojos.
 - Gafas protectoras.
 - Mascara facial.
- Cabeza.
 - Casco de seguridad.
 - Redecilla para pelo o cofia
- Oídos
 - Orejeras.
 - Tapones para oídos.
- Manos
 - Guantes.
- Pies.
 - Calzado de seguridad antideslizante con punteras protectoras.
- Cuerpo.
 - Mamelucos.
 - Guardapolvo.

La falta de alguno de los elementos mencionados anteriormente podría provocar un accidente grave en el trabajador, por lo tanto, será estrictamente necesario que la empresa brinde estas protecciones a la/las personas que manipulen el fotobiorreactor o cualquier otro equipo mencionado en el presente trabajo.

Consideraciones de seguridad generales para la manipulación y utilización de bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas son recipientes a presión compuestos por piezas rotativas, las mismas pueden ser muy peligrosas si no se siguen las indicaciones y procedimientos adecuados para su manipulación y utilización. A continuación, se mencionan aspectos a tener en cuenta para evitar la generación de accidentes indeseados (Goulds, 2008):

- No utilizar calor para desmontar las bombas, existe riesgo de explosión con el líquido atrapado.
- No hacer funcionar bombas sin el protector de acoplamiento debidamente instalado.
- No hacer funcionar las bombas sin sus correspondientes dispositivos de seguridad instalados.
- No hacer funcionar bombas en seco o por debajo del caudal nominal.
- No hacer funcionar la bomba con la válvula de aspiración y de descarga cerrada.
- Antes de realizar el mantenimiento de la bomba se debe bloquear la alimentación del motor.
- No colocar las tuberías forzándolas en las conexiones, ya que pueden producirse deformaciones y alineaciones incorrectas.
- Utilizar siempre guantes de trabajo gruesos cuando se manejen piezas con bordes afilados.
- Utilizar siempre gafas de seguridad con protectores laterales para proteger los ojos.
- Utilizar siempre zapatos con punta de acero para proteger los pies de herramientas o piezas pesadas.
- Bloquear la alimentación del motor para impedir puestas en marcha accidentales.

- Mantener correctamente lubricados los rodamientos.
- Asegurarse de que la operación de la bomba sea dentro del rango hidráulico correspondiente.
- Dejar que los componentes de la bomba se enfríen antes de manipularlos.

Medidas de seguridad en el laboratorio

Los inóculos necesarios para el crecimiento de la microalga se realizarán en el laboratorio que se encuentra disponible en la empresa. Si bien el mismo ya se encuentra cumpliendo con las medidas de seguridad e higiene necesarias, cabe destacar que para evitar contaminación y riesgos biológicos, los inóculos se llevarán a cabo en cabinas de flujo laminar, utilizando siempre material esterilizado en autoclave. El mismo deberá ser rociado en su exterior con alcohol al 70 % antes de ser ingresado a la cabina para su posterior utilización.

Desechos

Finalizada la producción de microalgas, se procede a la etapa de downstream processing buscando separar el medio de la biomasa. Una vez separados, si el medio de cultivo cumple con los parámetros de vertidos sera volcado en los recursos hídricos, caso contrario, se propone que el mismo sea enviado a las piletas de tratamientos de efluentes que posee Jugos SA. para el tratamiento de sus aguas residuales.

Riesgos

Riesgo de incendios

Este tipo de riesgo se encuentra asociado tanto al personal como así también al proceso en general. Se recomienda la realización de un cronograma, el cual especifique periodos de tiempo necesarios para la revisión de la maquinaria/equipos localizados tanto en la planta de producción de microalgas, como así también en la planta de producción de jugos. Deberán realizarse capacitaciones al personal acerca de los tipos de matafuegos colocados en la planta, y en qué casos utilizar cada uno de ellos. Se recomienda que estas capacitaciones cuenten con simulacros de cómo apagar un principio de incendio en caso de que se produzca, es decir, buscar un lugar seguro de la planta y producir un

fuego controlado para que el personal pueda practicar el manejo y uso de cada uno de los matafuegos. Por su parte, el personal de seguridad e higiene será el encargado de verificar que los mismos se encuentren siempre aptos para su uso, controlando las fechas de vencimiento correspondientes. Además, será necesario capacitar al personal en general acerca del manejo de las llaves de los servicios en general, es decir, tableros eléctricos, llaves de corte de agua y gas, etc.

Riesgo Mecánico

El fotobiorreactor elegido para el proceso cuenta con un manual de seguridad, instalación y operación (Anexo A) con el objetivo de asegurar un aislamiento hermético del cultivo hacia el medioambiente y una utilización/manipulación segura.

Por su parte, para el correcto uso la centrifuga seleccionada se deberá tener en cuenta las instrucciones de uso provistas por el manual de la misma (Anexo A), evitando de esta manera posibles accidentes si se carga de modo inadecuado.

De ser necesario, la planta debe contar con cartelera (Figura 7.1) que indique donde existe riesgo de atrapamiento, riesgo de corte y protección de proyección de partículas, como por ejemplo, en las bombas que se utilizaran para impulsar las aguas residuales o en la separación.



Figura 7.1: Riesgos Mecánicos.
Extraído de Dirección de Seguridad Laboral (2013)

Riesgo biológico

Se encuentra asociado a la utilización de la microalga y de las aguas residuales, ya que las mismas pueden contener una gran variedad de microorganismos. Es por esta razón que se propone la utilización de campanas de flujo laminar con el objetivo de mantener un ambiente estéril al realizar los inóculos necesarios para la producción de la biomasa.

Uso inadecuado de los EPP

El uso inadecuado de los elementos de protección personal genera un riesgo directo para las personas que deben portarlos. Esto podría deberse a varias razones, como por ejemplo, fatiga o exceso de confianza por parte del portador, desconocimiento acerca de riesgos asociados, lugar de guardado no accesible, etc.

Para poder minimizarlos, se propone la realización de jornadas de capacitación por parte del personal de seguridad e higiene. Las capacitaciones deberán contar con toda la información suficiente y necesaria acerca de los riesgos asociados al no uso de los EPP, jornadas extensivas en las cuales se enseñe a cada uno de los operarios la manera correcta para su colocación y uso, y además, establecer un determinado período de tiempo para la revisión de los mismos y de esta manera, poder confirmar que sigan en buen estado y aptos para su uso; en caso contrario, deberá procederse a su reemplazo inmediato. Estas capacitaciones también contarán de un espacio de contención para los operarios, ya que se les brindará la capacidad de poder realizar sugerencias acerca del uso o incorporación de algún EPP en particular que no esté contemplado y que ayude a disminuir los riesgos, así como también, cualquier sugerencia asociada al proceso.

Se exige además la capacitación del personal en primeros auxilios, tales como la realización de RCP en adultos y lactantes, utilización de desfibrilador, posición de seguridad de la víctima, maniobra de Heimlich auto maniobrada y hacia terceros, primeros auxilios ante casos de ACV, quemaduras, fracturas, heridas, intoxicación (a través del contacto con la piel, los ojos, vía oral o inhalatoria), electrocución, convulsiones y/o desmayos, inhalación de cuerpos extraños, sangrados nasales, entre otros. Deberá realizarse una examinación periódica del botiquín de primeros auxilios, el mismo deberá estar ubicado en lugares estratégicos y accesibles para todos, y además, contener los materiales necesarios para las curaciones básicas del personal.

Plano de evacuación

La planta de producción de microalgas y la planta de producción de jugos contarán con un plano de evacuación que deberá darse a conocer a los operadores al momento de incorporarse a la empresa. Además, deberán estar colocados en lugares estratégicos para su visualización. Se recomienda la realización de simulacros de abandono de planta previo aviso al personal, así como también, simulacros sorpresa para evaluar el comportamiento en general en condiciones de alerta y de esta manera poder realizar las correcciones necesarias.

Capítulo 8

Estudio de factibilidad técnica

Análisis y determinación de la localización y capacidad óptima del proyecto

La planta de producción de microalgas se ubicará en Bartolo Luis Pasín N° 2100, Parque Industrial, Villa Regina, Río Negro (Figura 8.1). Como se decidió trabajar con la empresa Jugos S.A, el lugar de ubicación será dentro de las instalaciones de la misma.

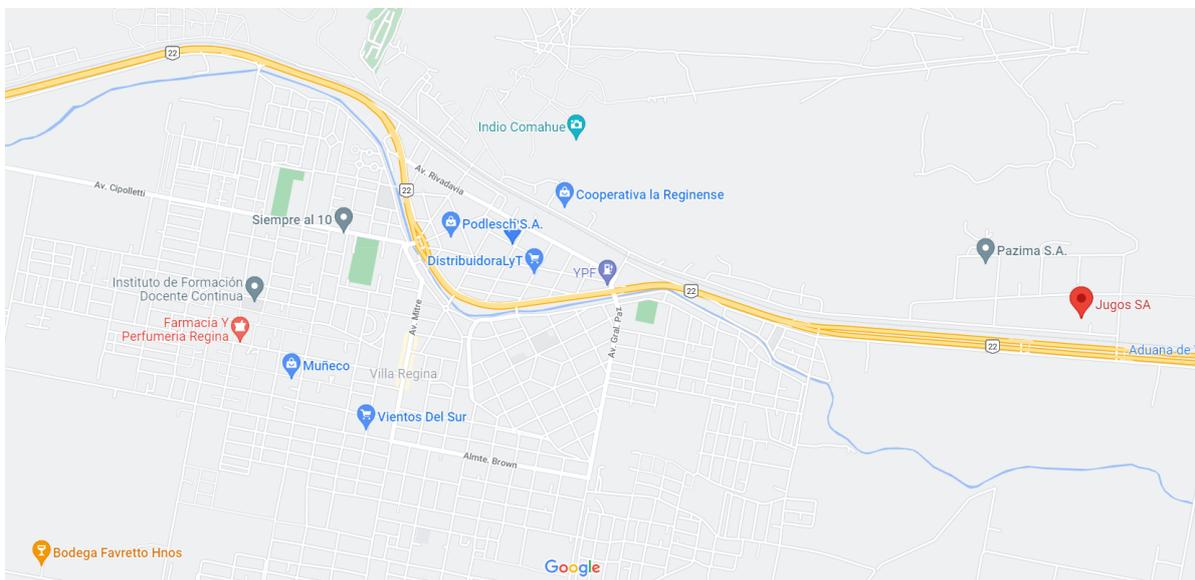


Figura 8.1: Plano de ubicación en Villa Regina
Fuente: Google Maps.

El proceso productivo planteado para este proyecto se definirá como de tipo continuo, esto es así ya que, al liberarse constantemente dióxido de carbono y otros gases, es necesario

que los mismos sean tratados una vez que son producidos para evitar contaminación ambiental. A partir de datos suministrados por la empresa se obtuvo información de los niveles de producción durante cada mes del año, por lo que, teniendo en cuenta esto y la necesidad de supervivencia de las algas es que se decide optar por realizar un proceso continuo.

Determinación de la capacidad operativa

En el cuadro 8.1 se detalla la capacidad operativa del proyecto por año. Para ello se tuvo en cuenta que se pretenden producir 1.711 kg de biomasa que tardará aproximadamente 360 horas en crecer. Además, se contemplan 2 días para vaciar el biorreactor y realizar las tareas de limpieza necesarias. También, se tuvo en cuenta que existen 14 días donde se realiza una parada de planta para tareas de mantenimiento general, obteniendo un total de 294 días de proceso, por lo tanto, a partir de lo detallado anteriormente, se realizaron los cálculos necesarios para la obtención de la producción anual de microalgas.

Cuadro 8.1: Producción a 10 años

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unidades [Kg]	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944	35.944

Para la determinación de la capacidad productiva del proyecto a 10 años, se consideró que la producción de la empresa se mantendrá estable por este período de tiempo. Transcurrido el mismo, deberá analizarse cuál fue su crecimiento y en base al mismo, se planteará la posibilidad de incorporar nuevos reactores así como también, la ampliación e incorporación de equipos que puedan procesar mayor cantidad de caudal, tanto de gases liberados como de aguas residuales.

Organización jurídica

La empresa cuenta con un organigrama similar al que puede observarse en la Figura 8.2, el mismo incluye una gerencia general que se subdivide en varios departamentos, entre ellos, el departamento de sistemas, departamento de administración y finanzas, departamentos de comercialización, departamento de recursos humanos y departamento de operaciones. Este último a su vez tiene a cargo los Departamentos de Producción,

Mantenimiento, Investigación y Desarrollo, Aseguramiento de la Calidad y Servicio. Es por ello que, al incorporarse la planta de tratamiento de efluentes a una empresa ya existente, se englobará en los distintos departamentos mencionados.

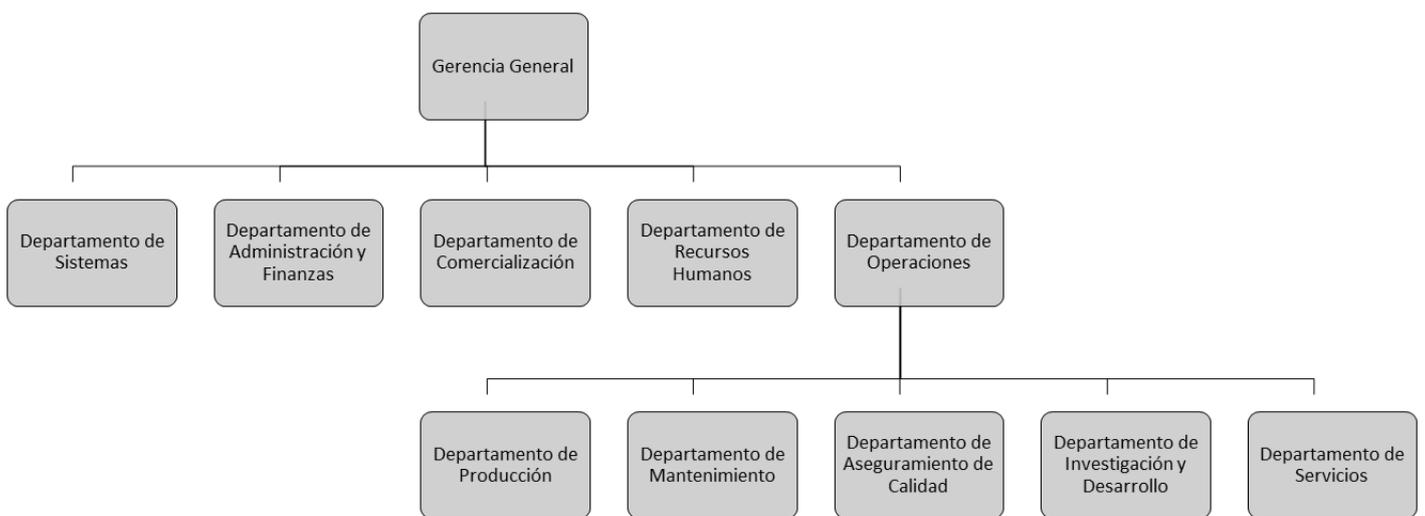


Figura 8.2: Organigrama Jugos S.A.
Fuente: Producción propia.

Con respecto al personal incorporado, la persona encargada del mantenimiento de los equipos de la planta en general dependerá del Departamento de Mantenimiento, mientras que el laboratorista se encontrará a cargo del departamento de Aseguramiento de la Calidad.

Capítulo 9

Análisis de Costos

Jugos S.A cuenta actualmente con un espacio físico propio dónde se desarrolla la empresa. Es por esta razón que el proyecto se llevará a cabo en este espacio, sin necesidad de invertir en nuevos terrenos para su desarrollo.

La inversión en este caso se centrará en la compra de maquinarias necesarias para el proceso planteado (Capítulo 6), entre ellas se encuentran:

- Compresor de tornillo libre de aceite y con enfriamiento por aire
- Bombas hidráulicas
- Fotobiorreactor tubular
- Centrífuga

En el cuadro 9.1 que se muestra a continuación, se pueden observar los costos correspondientes a cada una de las máquinas en dos tipos de monedas distintas (dolares y pesos), así como también, la cantidad necesarias de las mismas, la vida útil y la depreciación anual.

Cuadro 9.1: Costos de maquinarias
Fuente: Elaboración propia

Inversiones	Cantidad	Vida útil	Costo en dólar	Costo en pesos	Depreciación anual dolarizada	Depreciación anual en pesos
Fotobiorreactor	1	100	3.540.000	1.026.600.000	35.400	10.266.600
Centrífuga	1	20	70.000	20.300.000	3.500	1.015.000
Bombas hidráulicas	0,5 HP	31	11.000	3.190.000	550	159.500
	1 HP	1	379	110.000	18.95	5500
	1,5 HP	1	379	110.000	18.95	5500
	7 HP	1	1.210	351.000	60.5	17.550
Compresor	1	20	22.760	6.600.400	1.138	330.020

Se incluyen también en el análisis, los costos correspondientes a los servicios requeridos por las máquinarias, personal capacitado para su manipulación, seguros de vida, costo de la compra de algas y envases para el depósito de las mismas. Estos se pueden observar en el cuadro 9.2.

Cuadro 9.2: Costos fijos y variables
Fuente: Elaboración propia

	Costos Fijos			Costos Variables	
	Costo mensual	Costo anual		Costo mensual	Costo anual
Agua	-	-	Agua Reidual	-	-
Luz	\$ 746.557,82	\$ 8.958.693,84	Laboratorista	\$ 155.000,00	\$ 1.860.000,00
Mano de obra permanente	\$ 130.000,00	\$ 1.560.000,00	Envases para deposito de algas	\$ 290.000,00	\$ 3.045.000,00
Seguro	\$ 2745,00	\$ 32940,00	Algas	-	\$ 38.400,00
Total	\$ 746.558	\$ 8.958.696	Total	\$ 445.000,00	\$ 4.943.400,00

Los costos fueron estimados a partir de información recolectada. El costo de la microalga a utilizar fue provisto por el banco de microalgas de la Universidad de Buenos Aires, en el mismo contempla 3 tubos para el inoculo inicial del fotobiorreactor y 9 para replicar futuras inoculaciones. En cuanto a los envases para el depósito de las microalgas, se tuvo en cuenta tachos plásticos de 200 L., ya que la misma será vendida a granel para que el comprador decida su destino.

Capítulo 10

Evaluación económica del proyecto

El proyecto fue evaluado teniendo en cuenta el método de depreciación en línea recta y el Valor Actual Neto (VAN). El VAN es un indicador económico que representa la riqueza que genera el proyecto después de cubrir los costos en un tiempo determinado (Valencia, 2011).

Este tipo de programas basados en la remediación de efluentes son difíciles de evaluar, ya que deben estimarse costos que no son monetizados. La disminución de emisiones contaminantes al medioambiente involucra costos económicos que deben ser cargados al presupuesto de los proyectos, donde, en muchos casos, puede ocurrir que la valoración de los costos ambientales no sea suficiente, o bien, que los costos económicos de los mismos sean desfavorables para su posterior ejecución (Postigo De la Motta, 2017).

Entre los costos a estimar encontramos los costos sociales correspondientes a enfermedades producidas por los contaminantes liberados, daños ambientales, costos laborales a largo plazo de las personas que trabajan en la empresa por el daño ambiental o contacto por aguas contaminadas, etc. Por otro lado, también sería necesario evaluar los beneficios de remediar, asociados a evitar en la medida en que sea posible el uso de agua de red, prevenir enfermedades asociada a la liberación de contaminantes, reducción de la huella de carbono y los gases de efecto invernadero con el objetivo de colaborar con la mitigación del calentamiento global, entre otros .

Como se mencionó anteriormente, los costos/beneficios son muy difíciles de monetizar, por lo tanto, para estimar el flujo de caja y VAN para este proyecto en particular se tuvo en cuenta una multa por no remediar de 50 salarios mínimos vital y móvil. También se incorporaron los costos fijos a la inversión de capital, se estimó una tasa de descuento del 4 % (la misma deben ser baja porque, de lo contrario, lo estaríamos comparando con un proyecto privado) y además, se estimó el valor de venta de la microalga en \$ 26.666 x kg.

Como puede observarse en el cuadro 10.1, el valor actual neto es positivo, esto significa que sería conveniente realizar la inversión para el proyecto propuesto ya que JUGOS S.A podría obtener rentabilidad con el mismo y además, reafirmar y aumentar su compromiso con el cuidado del medioambiente, evitando futuras multas monetarias aplicadas a la liberación de gases de efecto invernadero.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520	\$ 912.510.520
Costos totales (Variables + Fijos)		\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096	\$ 13.902.096
Costos de la remediación		\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000	\$ 2.895.000
Depreciación de equipos		\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670
Utilidades brutas		\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754	\$ 886.808.754
Impuestos (25 %)		\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5	\$ 221.702.188,5
Utilidades Netas		\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5
Inversiones de equipos	\$ 1.066.220,096										
Depreciación de equipos		\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670	\$ 11.799.670
Utilidades netas		\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5	\$ 665.106.565,5
Inversiones de equipos	\$ 1.066.220,096										
Flujo de caja	- 1.066.220,096	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5	\$ 676.906.235,5
Tasa de descuento VAN	4 %										
	\$ 4.424.095,833										

Cuadro 10.1: Flujo de caja

Capítulo 11

Conclusión y Discusiones

El presente trabajo contempla el tratamiento de gases de efecto invernadero provenientes de la combustión producida en las calderas de la empresa Jugos S.A, así como también, la utilización de sus efluentes líquidos para el cultivo de microalgas en un fotobiorreactor tubular (esto implica que la empresa no deba utilizar agua de red evitando un costo económico). Actualmente, la empresa realiza un tratamiento eficiente para las aguas utilizadas en la producción de jugos, sin embargo, las emisiones gaseosas son liberadas al medioambiente ya que cumplen con los parámetros establecidos por la legislación de Buenos Aires.

A partir de esta problemática económica, medioambiental y social, y en búsqueda de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, se propone este proyecto que consiste en el tratamiento de efluentes líquidos y emisiones gaseosas utilizándolas como sustrato para el cultivo de microorganismos.

Existe una gran variedad de microalgas que pueden utilizarse como biorremediadoras ambientales. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas dadas en el Alto Valle de Río Negro se optó por la elección de *Chlorella Pyrenoidosa*, ya que la misma es capaz de soportar un amplio rango tanto de temperaturas como de los gases utilizados para su cultivo. Por otro lado, la elección del fotobiorreactor se basó en las ventajas proporcionadas por este tipo de sistemas, siendo una de las principales su adaptación al espacio disponible en la empresa para la realización de este proyecto, así como también, la excelente pureza y concentración de la biomasa.

Mediante datos obtenidos por Jugos S.A., se determinó que al aplicar este proceso se evitaría la emisión de aproximadamente 9.636.000 m³ de gases de efecto invernadero al año. Esto sería beneficioso no sólo para el medioambiente sino también para la empresa en caso de que en un futuro se promulguen leyes donde se controle o prohíba la liberación

de los mismos, imponiendo sanciones, multas económicas, clausura o suspensión de las actividades.

A partir de la utilización del software *RStudio* se pudo determinar que, a través de la producción de dicho microorganismo, los gases suministrados al fotobiorreactor tardarían 250 horas en consumirse, produciendo 1711 kg de microalgas en base húmeda en un período de tiempo de 14 días, generando una cantidad de 35 toneladas al año y evitando de esta forma la liberación de emisiones contaminantes a la atmósfera. Así mismo, se obtuvo también que el volumen del fotobiorreactor sería de $315 m^3$.

El análisis económico realizado se planteó a partir de la venta a granel de la microalga cultivada, dejando a criterio del comprador la decisión del producto final que quiera comercializarse. En caso de que la empresa quisiera obtener una mayor rentabilidad a partir del cultivo, se mencionaron anteriormente una variedad de productos que pueden obtenerse a partir del procesamiento posterior de dicho microorganismo. Si bien el objetivo de este proyecto era evitar multas monetarias derivadas de la liberación de contaminantes al medioambiente, a partir del estudio económico realizado a 10 años que incluyó los costos, inversiones, depreciaciones, venta de microalgas y el valor del VAN arrojado, se concluye que la empresa obtendrá ganancias a partir del capital invertido posterior a la puesta en marcha de la presente idea. El VAN arrojó un valor de \$4.424.095.833, por lo tanto, la empresa podrá seguir funcionando de una manera económicamente beneficiosa. Esta propuesta se pensó no sólo en base a subsanar el daño producido en la biosfera, sino también con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan esta región, buscando crear un ambiente libre de contaminación.

La producción de microalgas utilizando gases de combustión y aguas residuales provenientes de la industria juguera es una idea innovadora tanto en la Patagonia como a nivel Nacional. Se espera que en un futuro distintas empresas del país busquen disminuir la huella de carbono producida por sus procesos, siendo ésta un ejemplo de lo que podría realizarse para tal fin.

Propuestas de mejora

Dados los requisitos necesarios planteados por la universidad para la obtención del Título de Grado y el corto período de tiempo que se dispone para la realización del proyecto final, se sugiere que en el caso de que se quiera llevar a cabo el proyecto, se tengan en cuenta las siguientes propuestas de mejora:

- Evaluar que el fotobiorreactor provisto por SCHOTT soporte la presión ejercida por

los gases.

- Recalcular las potencias de las bombas incluyendo la pérdida de carga por accesorios.
- Evaluar la posibilidad de incorporar un tanque por fila de fotobiorreactor (es decir, 31 tanques, uno por cada serpentín). En este caso, la simulación a través de *R.studio* debería realizarse nuevamente ya que el volumen de agua de cada uno de los reactores, el caudal de los gases y el inóculo de la microalga no serán los mismos.
- Evaluar si será necesario incorporar bombas de paleta que reemplacen las bombas centrífugas, para evitar el posible rompimiento de la microalga.
- Plantear los balances correspondientes de dilución de cada uno de los gases en el medio de cultivo e incorporar en el simulador.
- Plantear balances de formación de oxígeno a medida que se consume el dióxido de carbono a través de la fotosíntesis e incorporar al simulador.
- Incorporación de paneles solares que ayudarían a reducir la huella de carbono en el ambiente y los costos de energía eléctrica.

Bibliografía

- Acuña Torres R. (2008), “Un apunte sobre el cambio climático.” URL <https://bioreactorcrc.wordpress.com>. [Visitado 24/05/2022].
- Arbib Z., Ruiz J., Álvarez-Díaz P., Garrido-Pérez C., Barragan J. y Perales J. A. (2013), “Long term outdoor operation of a tubular airlift pilot photobioreactor and a high rate algal pond as tertiary treatment of urban wastewater.” *Ecological Engineering*, **52**, 143–153.
- Arroyo Gómez C. A. (2015), *Biofijación de CO₂, NO, y SO₂ presentes en los gases de plantas termoeléctricas utilizando microalgas*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana, URL <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6888>.
- Básaca-Loya G., Valdez M., Enríquez-Guevara E., Gutierrez-Millán L. y Burboa M. (2009), “Extraction and purification of B-phycoerythrin from the red microalga *Rhodospirillum rubrum*.” *Ciencias Marinas*, **35**, 359–368.
- Bergman E. (2021), “Huellas positivas y hojas de ruta para lograr una Finlandia neutra en carbono para 2035.” URL <https://bit.ly/3Sv0rR9>. [Visitado 20/03/2022].
- Bito T., Okumura E., Fujishima M. y Watanabe F. (2020), “Potential of chlorella as a dietary supplement to promote human health.” *Nutrients*, **12**, 1–21.
- Blanco A. M., Moreno J., Del Campo J. A., Rivas J. y Guerrero M. G. (2007), “Outdoor cultivation of lutein-rich cells of *Muriellopsis* sp. in open ponds.” *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- Carvalho A. P., Meireles L. A. y Malcata F. X. (2006), “Microalgal reactors: A review of enclosed system designs and performances.”
- Castillo Vacas E. I. (2020), *Evaluación de la capacidad de captura de dióxido de carbono mediante el uso de *Scenedesmus* sp. utilizando agua residual industrial como medio*

- de cultivo*. Tesis de máster, Escuela Agrícola Panamericana, URL <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6752>.
- Daliry S., Hallajisani A., Mohammadi Roshandeh J., Nouri H. y Golzary A. (2017), “Investigation of optimal condition for *Chlorella vulgaris* microalgae growth.” *Global Journal of Environmental Science and Management*, **3**, 217–230.
- Dirección de Seguridad Laboral (2013). *Riesgos Laborales*.
- Doran P. (1998), *Principios de ingeniería de los bioprocesos*, primera ed ed.
- Europa Press (2020), “Una membrana autoformante que captura específicamente CO2.” URL <https://bit.ly/3f4yjXy>.
- Expreso Oro Negro (2022), “Expreso Oro Negro.” URL <https://acortar.link/43Yq5f>. [Visitado 10/05/2022].
- Flottweg (2022), “Recolección de algas.” URL <https://www.flottweg.com/es/aplicaciones/grasas-y-aceites/algas/>. [Visitado 28/09/2022].
- García Cubero R. (2014), “Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de co2.” URL <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/56164/TESIS%20DOCTORAL%20RGC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Gielen D. (2002), “CO2 removal in the iron and steel industry.” *Energy Conversion and Management*, **44**, 1027–1037.
- Gómez C., Escudero R., Morales M. M., Figueroa F. L., Fernández-Sevilla J. M. y Acién F. G. (2013), “Use of secondary-treated wastewater for the production of *Muriellopsis* sp.” *Applied Microbiology and Biotechnology*, **97**, 2239–2249.
- Gomez-Luna L., Tormos-Cedeño L. y Ortega-Díaz Y. (2022), “Cultivo y aplicaciones de *chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura.” *Tecnología Química*, 70–93, URL <https://orcid.org>.
- Goulds (2008), “Manual de seguridad de bombas de proceso industrial.” URL http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/InstructionandOperationManuals/Numerical/IP_Safety_Manual_ESN_Sept09.pdf?ext=.pdf. [Visitado 25/09/2022].

Hongyang S., Yalei Z., Chunmin Z., Xuefei Z. y Jinpeng L. (2011), “Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in soybean processing wastewater.” *Bioresource Technology*, **102**, 9884–9890.

Información Legislativa y Documental (1958), “Ley 5965: Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.” URL <https://normas.gba.gob.ar/documentos/VrQEyCGB.pdf>. [Visitado 21/05/2022].

Información Legislativa y Documental (1983), “Decreto 2332/8: Promoción Industrial.” URL <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/65000-69999/65676/texact.htm>. [Visitado 13/05/2022].

Información Legislativa y Documental (1988), “Ley 3614: Promoción Industrial.” URL [http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/14/norma.htm#{#}:{~}:text=LeyNÃr23614-Infoleg,\(NotaInfoleg{%}3Averarts.{&}text=Instit{ú}yeseun{ú}nicosistemanacional,ymodernizaci{ó}ndelasexistentes](http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/14/norma.htm#{#}:{~}:text=LeyNÃr23614-Infoleg,(NotaInfoleg{%}3Averarts.{&}text=Instit{ú}yeseun{ú}nicosistemanacional,ymodernizaci{ó}ndelasexistentes). [Visitado 13/05/2022].

Información Legislativa y Documental (1990), “Ley 2391: Control de calidad y protección de los recursos hídricos provinciales.” URL <https://bit.ly/3F6M07M>. [Visitado 06/05/2022].

Información Legislativa y Documental (1995), “Ley 3183: Agua potable, desagües cloacales, riego y drenaje.” URL <https://dpa.rionegro.gov.ar/?contID=10660>. [Visitado 06/05/2022].

Información Legislativa y Documental (1998), “Ley 3266: Evaluación de Impacto Ambiental.” URL <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/producciones{sostenibles/legislacion/provincial/{archivos/000005-Legislaci{ó}nAmbientaGeneral/000016-R{í}oNegro/326699-LEY3266-99EIA.pdf>. [Visitado 06/05/2022].

Información Legislativa y Documental (2002a), “Ley 25612: gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios.” URL <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/76349/norma.htm>. [Visitado 06/05/2022].

Información Legislativa y Documental (2002b), “Ley 25675: Política Ambiental Nacional.” URL <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>. [Visitado 06/05/2022].

- Información Legislativa y Documental (2002c), “Ley 25688: regimen de gestion ambiental de aguas.” URL <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/80000-84999/81032/norma.htm>. [Visitado 06/05/2022].
- Información Legislativa y Documental (2006), “Ley 26.093: Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles.” URL <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/116299/norma.htm>. [Visitado 11/05/2022].
- Jiang Z., Zhongbao L., Yinghua L., Xuemin T., Bin L., Yuanyue L., Zhiqiang L., Yaojiang L. y Jixin Z. (2011), “Cultivation of the microalga, chlorella pyrenoidosa, in biogas wastewater.” *African Journal of Biotechnology*, **10**, 13115–13120.
- Johny N., Murali T. R., Mathew P. S., Raj A. A. y Sukesh O. P. (2019), “Experiment on carbon dioxide removal from flue gas.” *Materials Today: Proceedings*, **11**, 1094–1101, URL <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.12.044>.
- Kaerer (????), “Compresores de tornillo sin aceite y con enfriamiento por aire.” URL <https://ar.kaerer.com/productos/compresores-de-tornillo/compresores-de-tornillo-seco/enfriamiento-por-aire/>.
- Lee E., Jalalizadeh M. y Zhang Q. (2015), “Growth kinetic models for microalgae cultivation : A review.” *ALGAL*, **12**, 497–512, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2015.10.004>.
- Legislatura de Río Negro (2016), “Ley 5140: Ley general del cambio climático.” URL <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/ver?id=9582#:~:text=El%20objeto%20de%20la%20presente,adaptaci%C3%B3n%20frente%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico>. [Visitado 07/03/2023].
- Lombardi L., Corti A., Carnevale E., Baciocchi R. y Zingaretti D. (2011), “Carbon dioxide removal and capture for landfill gas up-grading.” *Energy Procedia*, **4**, 465–472, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2011.01.076>.
- López González P. (2016), *Diseño de un fotobiorreactor tubular para la producción de Chlorella vulgaris*. Tesis doctoral, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona.

- Marazzi F., Bellucci M., Fantasia T., Ficara E. y Mezzanotte V. (2020), “Interactions between microalgae and bacteria in the treatment of wastewater from milk whey processing.” *Water (Switzerland)*, **12**.
- Martinez Uoeda J. (2012), “Calderas industriales eficientes.” En *Guía básica de calderas industriales*, capítulo 4, 81–85, Madrid, URL <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf>.
- Ministerio de educación cultura y deporte (2014), “Boletón Oficial del Estado.” *Boletín Oficial del Estado*, 26798–26800.
- Nagarajan D., Dong C. D., Chen C. Y., Lee D. J. y Chang J. S. (2019), “Biohydrogen production from microalgae—Major bottlenecks and future research perspectives.” *Biotechnology Journal*, **16**.
- Núñez Rivera A. (2017), “Fotobiorreactores con microalgas.” URL <https://reactoresuc.wordpress.com/2017/09/06/fotobiorreactores-con-microalgas/>. [Visitado 24/05/2022].
- Nwoba E. G., Parlevliet D. A., Laird D. W., Alameh K. y Moheimani N. R. (2019), “Light management technologies for increasing algal photobioreactor efficiency.” *Algal Research*, **39**, 101433, URL <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101433>.
- Olarte Gómez E. A. y Valencia Giraldo M. J. (2016), *Evaluación del uso de la microalga Chlorella vulgaris en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinaza)*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Ozone E. (2017), “Algae- Bioreactor.” URL <http://www.earthozone.com>. [Visitado 24/05/2022].
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2021), “Reglamento (UE) 2021/523 Del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de marzo de 2021 por el que se establece el Programa InvestEU y se modifica el Reglamento (UE) 2015/1017.” *Diario Oficial de la Unión Europea. Serie L*, **2021**, 1–17, URL <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/523/oj>.
- Pastor V. y Pozo A. (2013), *Evaluación del rol de iluminancia, el pH y la cantidad de nutrientes en el crecimiento de la microalga Scenedesmus sp. en condiciones de*

- laboratorio*. Tesis doctoral, URL <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1823/11/UPS-YT00077.pdf>.
- Perry R. H. (2013), *Manual Del Ingeniero Quimico*, volumen 369.
- Postigo De la Motta W. (2017), “Alcances y limitaciones del análisis costo beneficio para proyectos ambientales y de cambio climático.” *Paideia*, **3**, 33–46.
- Prieto Márquez I. (2020), *Estudio Del Creci Miento De La Capacidad De Depuración De Agua Residual*. Tesis doctoral, Universidad de Almería.
- Ramírez Mérida L. G., Jacob-Lopes E. y Queiroz Zepka L. (2013), “Fotobiorreactor: Herramienta Para Cultivo De Cianobacterias.” *Ciencia y Tecnología*, **6**, 9–19.
- Ramírez Mérida L. G., Jacob-Lopes E. y Queiroz Zepka L. (2014), “Fotobiorreactor: Herramienta Para Cultivo De Cianobacterias.” *Ciencia y Tecnología*, **6**, 9–19.
- Ramsey E., Sun Q., Zhang Z., Zhang C. y Gou W. (2009), “Mini-Review: Green sustainable processes using supercritical fluid carbon dioxide.” *Journal of Environmental Sciences*, **21**, 720–726, URL [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62330-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62330-X).
- Ras M., Steyer J. P. y Bernard O. (2013), “Temperature effect on microalgae: A crucial factor for outdoor production.” *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, **12**, 153–164.
- Rizwan M., Mujtaba G., Memon S. A., Lee K. y Rashid N. (2018), “Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **92**, 394–404, URL <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.034>.
- Rocha L. (2019), “Cuánto contamina realmente la Argentina.” URL <https://www.infobae.com/sociedad/2019/09/24/cuanto-contamina-realmente-la-argentina/>.
- Schott (2018), “SCHOTT PBR Calculator.” URL https://knowledge.schott.com/art_{_}resource.php?sid=19948.232rr41{&}{_}ga=2.86276893.449917440.1656766836-352802711.1656766836.
- Schott (2022), “Fotobiorreactores.” URL <https://www.schott.com/es-ar/aplicaciones/fotobiorreactores>. [Visitado 26/09/2022].

- Singh R. N. y Sharma S. (2012), “Development of suitable photobioreactor for algae production - A review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 2347–2353, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.026>.
- Sirohi R., Joun J., Lee J., Yu B. y Sim S. (2022), “Waste mitigation and resource recovery from food industry wastewater employing microalgae-bacterial consortium.” *Bioresource Technology*, **352**, 127129, URL <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127129>.
- Smith J. M., Van Ness H. y Abott M. (2007), *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*.
- Solano Barajas F. A., Ruiz Godoy A. C. y Davila Monroy D. J. (2012), “Mejoramiento del secuestro de CO₂ por *Chlorella vulgaris* UTEX 1803 en fotobiorreactores a escala laboratorio.” *Revista ION*, **25**, 39–47.
- String Fixer (2020), “Fotobiorreactor.” URL <https://stringfixer.com/pt/Photobioreactor>. [Visitado 24/05/2022].
- Tan X. B., Wan X. P., Yang L. B., Wang X., Meng J., Jiang M. J. y Pi H. J. (2021), “Nutrients recycling and biomass production from *Chlorella pyrenoidosa* culture using anaerobic food processing wastewater in a pilot-scale tubular photobioreactor.” *Chemosphere*, **270**, 129459, URL <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129459>.
- Tavera Busso I. (2019), “Evaluación del impacto en la salud de partículas finas en suspensión presentes en la atmósfera de la ciudad de Córdoba.” URL <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87928>.
- Universidad de Buenos Aires (2022), “Colección de Cultivos de Microalgas de la FAUBA (CCM-FAUBA).” URL <https://www.agro.uba.ar/CCM-FAUBA>. [Visitado 08/11/2022].
- Vacca Jimeno V. A., Angulo Mercado E. R., Puentes Ballesteros D. M., Torres Yépez J. G. y Plaza Vega M. E. (2017), “Uso de la microalga *Chlorella* sp. viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil/Using the microalgae *Chlorella* sp. live suspended in decoloration wastewater from a textile factory.” *Prospectiva*, **15**, 93–99.
- Valencia W. A. (2011), “Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA).” *Industrial Data*, **14**, 15–18, URL <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81622582003>.

- Varicon aqua . (2022), “Serpentine Photobioreactor.” URL <https://www.variconacqua.com/products-services/phyco-flow/>. [Visitado 19/10/2022].
- Walski T., Barnard T. y Durrans R. (2002), *Computer Application in Hydraulic Engineering*, 5ta edición ed. Haestad Press.
- Xie Y. P., Ho S. H., Chen C. Y., Chen C. N. N., Liu C. C., Ng I. S., Jing K. J., Yang S. C., Chen C. H., Chang J. S. y Lu Y. H. (2014), “Simultaneous enhancement of CO₂ fixation and lutein production with thermo-tolerant *Desmodesmus* sp. F51 using a repeated fed-batch cultivation strategy.” *Biochemical Engineering Journal*.
- Zeng X., Danquah M. K., Zhang S., Zhang X., Wu M., Chen X. D., Ng I. S., Jing K. y Lu Y. (2011), “Autotrophic cultivation of *Spirulina platensis* for CO₂ fixation and phycocyanin production.” *Chemical Engineering Journal*, **183**, 192–197, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.12.062>.
- Zhang S. y Liu Z. (2021), “Advances in the biological fixation of carbon dioxide by microalgae.” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **96**, 1475–1495.
- Zhou W., Wang J., Chen P., Ji C., Kang Q., Lu B., Li K., Liu J. y Ruan R. (2017), “Bio-mitigation of carbon dioxide using microalgal systems: Advances and perspectives.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **76**, 1163–1175, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.065>.

Anexo A

Anexo A1

SCHOTT PBR: instalación y operación manual



SCHOTT
glass made of ideas



SCHOTT PBR
Installation and
Operation Manual

Safety and Handling

Pioneering – responsibly – together. These attributes characterize SCHOTT as a manufacturer of high-tech materials based on specialty glass. Always opening up new markets and applications with a pioneering spirit and passion – this is what has driven the #glasslovers at SCHOTT for more than 130 years. Represented in 34 countries, the company is a highly skilled partner for high-tech industries: Healthcare, Home Appliances & Living, Consumer Electronics, Semiconductors & Datacom, Optics, Industry & Energy, Automotive, Astronomy & Aerospace. As a foundation company, SCHOTT has anchored responsibility for employees, society and the environment deeply in its DNA. The goal is to become a climate-neutral company by 2030.

With a production capacity of more than 190,000 tons and production sites in Europe, South America and Asia, SCHOTT Tubing is one of the world's leading manufacturers of glass tubes, rods and profiles. More than 60 different glass types are produced in a large variety of dimensional and cosmetic specifications based on a standardized production process and a global quality assurance system. SCHOTT Tubing provides customized products and services for international growth markets such as pharmaceuticals and electronics as well as industrial and environmental engineering.



Contents

4	SAFETY MEASURES	12	INSTRUCTIONS
6	INSTALLATION INSTRUCTIONS	12	COUPLING INSTALLATION
9	INSTALLATION OF THE SCHOTT PBR COUPLINGS	14	COUPLING OPENING
9	INTRODUCTION	16	INDIVIDUAL TUBE REPLACEMENT
10	TOOLS AND PRODUCTS	18	OPERATING INSTRUCTIONS
10	REQUIRED TOOLS		
10	PRODUCT RANGE		

Title
PBR system/microalgae plant:
Algalif Iceland ehf., Iceland



Safety Measures

You are dealing with glass components. It is their natural behavior upon breakage to create pointed and sharp pieces that may cause injuries. **Generally, handle glass with care!**

- 1 Do not stand close to the photobioreactor longer than necessary. The glass components are designed for much higher loads than those occurring during general operation, but it is the natural behavior of glass to sometimes also break at very low stress (although at extremely low statistical probability). Whenever in close proximity to the photobioreactor, wear goggles, safety gloves, safety shoes and solid clothing which covers the complete body. Ideally, to avoid accidental approach to the photobioreactor, close off the complete area by fences.
- 2 When carrying glass components, e.g. after unpacking or during restructuring of the PBR, the walk-ways should be clear and should provide sufficient space not to hit other objects.
- 3 Tubes that obviously have mechanical defects (scratches, cracks, etc.) should not be installed or put into operation. These tubes have an increased risk of breakage.
- 4 When installing or renewing tubes at an elevated position, take care that no people are located underneath – ideally, close off the area.

4



Handle glass with care!

- 5 SCHOTT recommends wearing goggles and work gloves during transport and handling of glass components and safety shoes when handling heavy glass components.
- 6 Take care that the tubes lie firmly in their final positions and that the U-bends are mounted correctly to prevent them from being pushed off when the PBR is pressurized.
- 7 SCHOTT recommends the installation of pressure sensors that open up safety valves and shut down pumps at given maximum pressures. The sensors should be installed at positions where the highest inside pressures are expected. Note that the inside pressure has three individual contributions: hydrostatic and hydrodynamic pressure components and pressure burst from the pumps. In a worst case scenario, the pump may operate against a clogged tube and build up very high pressures inside the tubular system.
- 8 SCHOTT recommends a leak test of the entire photobioreactor before commissioning. The inside pressure should be increased to above the maximum expected operating pressure, but should never exceed the specified maximum system pressure.
- 9 SCHOTT recommends wearing safety goggles and work gloves when cleaning up broken pieces of glass.

5

Installation Instructions

This document provides recommendations and information for the handling and installation of glass tubes for photobioreactors. It refers to all dimensions and gives specific information for tubes with standard diameters of 54 mm, 65 mm and 100 mm.



Handle glass with care: Have the tubes laid into their position by two people.

Installation – General Comments

The tubes are made of glass. Handle them with care and avoid all contact of the glass components with any other solid objects. When handling the glass tubes and laying them into the supports for their final position always deploy at least two people.

Wear at all times goggles, safety gloves, safety shoes and solid clothing which covers the complete body.

Never let two tube ends get into direct contact with each other. They may break, or the contact may cause small microcracks that can lead to breakage during operation.

Make sure that both, tube ends and couplings are clean before installation. In particular, any sand or similar abrasive material that might scratch the glass surface must be completely removed.

i SCHOTT couplings provide a spacer on the inside to prevent the glass tubes from touching each other.

Support Distance

It is required to support the tubes at two symmetric positions that typically lie at one quarter of the total tube length from either tube end. The following support positions are recommended by SCHOTT – given as distances from each end:

	54 mm tube L = 5,500 mm	65 mm tube L = 5,500 mm	100 mm tube L = 3,850 mm
First support [mm] [inch]	1375 54.1	1375 54.1	950 37.4
Unsupported middle [mm] [inch]	2750 108.3	2750 108.3	1950 76.8
Second support [mm] [inch]	1375 54.1	1375 54.1	950 37.4

Table 1: Support distances for glass tubes. In these configurations the ends of water-filled tubes will sag by less than 5 mm and the ends will form an angle of less than 1° with the horizontal.

i Ensure that tube supports are capable of holding the maximum mass of a water filled tube as specified below under „Data Sheet Glass Tubes“ (see page 8).

Support Shape and Material

The tube support should hold the tube in place while not exerting a pressure higher than 1 MPa onto the glass surface. SCHOTT recommends supports with round, bowl-like shapes that hold the tubes in place and that distribute the pressure over large areas on the tube perimeter. The material in immediate contact with the glass tube should be a soft material, e.g. a polymer or rubber sleeve on a metal support. Avoid direct metal-glass contacts and mechanical stress peaks.

Max. pressure of support on tube	1 MPa 145 psi
Support shape	round (bowl like)
Support area in contact with the tube	> 10 cm ² 1.5 in ²
Surface material in contact with tube	a soft material like rubber or polymer

Couplings

When connecting tubes or glass components a direct glass-to-glass contact must be avoided. Couplings should keep the tube ends apart from each other and should provide a smooth tube-to-tube transition. Note that under thermal expansion the tube ends approach each other. SCHOTT couplings are designed for compensating this expansion.

Thermal expansion [mm] [inch]	54 mm tube L = 5,500 mm	65 mm tube L = 5,500 mm	100 mm tube L = 3,850 mm
ΔT = 20 °C = 36 °F	0.36 0.014	0.36 0.014	0.25 0.010
ΔT = 40 °C = 72 °F	0.73 0.029	0.73 0.029	0.51 0.020

Table 2: Thermally induced expansion of glass tubes at two exemplary temperature changes

i Please note for standard couplings a 40 Nm torque should be applied and 25 Nm torque for the slim couplings.

For installation of the SCHOTT PBR Couplings, see Tutorial starting on page 9



Inside Pressure

Water does not flow frictionless. Be aware that when connecting multiple tubes and U-bends pressure builds up and – in long systems – this pressure can exceed the maximum specified pressure. In cases of too high flow resistances the flow speed may be reduced or shorter loops must be designed.

U-Bends

Internal pressure in the PBR can generate forces that can push off a U-bend. To prevent this from happening be sure to securely mount the U-bends to the adjacent tubes and prevent them from moving outward by attaching them to the rack with a wire or by placing a post against the U-bend to block movement.

① Inside pressures and forces that tend to push off each U-bend arm:

OD WT	54 mm tube 1.8 mm	65 mm tube 2.2 mm	100 mm tube 3.0 mm
Pressure [bar] [psi]	Force [N]	Force [N]	Force [N]
1 14.5	200	288	694
2 29.0	399	577	1388
3 43.5	599	865	2082

Table 3: Force on each arm of a U-bend as a function of inside pressure and outside tube diameter. Conversion: 1 bar = 14.5 psi

Data Sheet Glass Tubes

The following gives an overview of nominal values of standard tube parameters that may be useful for installation. Coefficient of thermal expansion [K⁻¹]: $3.3 \cdot 10^{-6}$

	54 mm tube L = 5,500 mm	65 mm tube L = 5,500 mm	100 mm tube L = 3,850 mm
Outer diameter, OD [mm] [inch]	54 2.13	65 2.56	100 3.94
Wall thickness, WT [mm] [inch]	1.8 0.071	2.2 0.087	3.0 0.118
Length [mm] [inch]	5,500 216.54	5,500 216.54	3,850 151.57
Inner volume [l] [gal]	10.97 2.90	15.86 4.19	26.72 7.06
Mass of empty tube [kg] [lb]	3.62 7.98	5.32 11.74	7.85 17.30
Mass of water filled tube [kg] [lb]	14.59 32.17	21.19 46.71	34.57 76.21

Table 4: Overview of standard tube geometries and quantities (all nominal values). Conversion: 1 pound (lb) = 0.4536 kg, 1 inch = 25.4 mm, 1 gallon (gal) = 3.7854 l

Installation of the SCHOTT PBR Couplings

A. Introduction



Watch the video!

This tutorial guide provides you with all the information that you need to successfully install your PBR couplings, open the couplings or replace the tubes. It begins with the tools and product types required, followed by a step-by-step guide includes additional information or assistance, please follow the link or QR code to watch our tutorial video.



B. Tools and Products

Required tools



SCHOTT tool kit

The following tools are contained in the SCHOTT tool kit for the installation and dismantling of our tubular glass photobioreactor. There are two different tool kits available according to the coupling type used. The necessary tools for the particular instruction are depicted on top of each tutorial.

Defined value for torque:
Standard coupling 40 Nm
Slim Coupling 25 Nm



Torque Wrench (Standard coupling: 40 Nm, Slim Coupling: 25 Nm)



Jaw Wrench



Coupling Opener

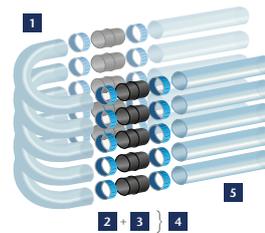


Dismantling Tool

Product range

The SCHOTT couplings can be used for all PBR systems. All couplings types consist of one cage and two nuts – standard, slim, maintenance and adapter currently available for sizes 54 mm and 65 mm. 100 mm are available on request and depend on specific order quantities. See images below.

Helical System



- 1 U- or J-Bend
- 2 Nut
- 3 Cage
- 4 Coupling
- 5 Tubing

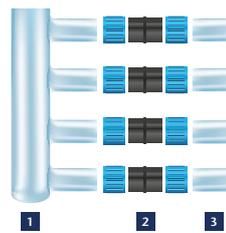


Nut



Cage

Fence System



horizontal or vertical orientation

- 1 Manifold
- 2 Coupling
- 3 Tubing



Couplings

C. Instructions

Coupling installation



For a safe connection of the tubular glass parts you will need the torque wrench and the jaw wrench. These tools are used to tighten the couplings.



1 The connection of two tubes requires one coupling that consists of two blue nuts and one black cage.



2 Place the cages into warm water (approx. 50°C / 122°F) for a minimum of 15 minutes to allow an easier gliding of the cage over the tube end. The water will lubricate and expand the cage. Please do not use any other lubricants, such as oils or silicones.



3 After positioning the glass tubes slide the blue nuts over the adjacent tube ends. A correct orientation of the nuts is essential.



4 Now take the cage out of the water and push it over one tube end. It is essential to push the cage over the glass tube all the way to the spacer.



5 The other glass tube can now be pushed into the other end of the cage and both tubes are now in their final position. Push the nuts over the cage.



6 Take the correct torque wrench and place it on the left side of the coupling. Required torque for Standard Couplings is 40 Nm, for Slim Couplings it is 25 Nm. It is important to affix the draw-hook of the tool on the side averted to the body. Make sure there is enough space for the torque wrench to tighten.



7 The jaw wrench should be placed accordingly on the right side of the coupling.



8 Now turn the wrenches in opposing directions until the torque wrench tilts towards your body. The connection process is now completed.



9 Repeat these steps with all other couplings. For the connection of the tube levels please use the U-Bends. The installation of the couplings at the U-Bends is the same as shown before. First, affix two couplings to the U-Bend up to the spacers inside the cages.



10 Next push the U-Bend over two tube ends at the same time. Afterwards tighten the blue nuts as shown, before the U-Bend is fully mounted to the system.

C. Instructions

Coupling opening



For opening the couplings, the dismantling tool and the coupling opener are required. Please only use the provided tools for these steps. Note: For opening do not reverse the installation process. This will damage the coupling.



1 Assemble the coupling opener in the middle of the coupling and pull the nuts off the cage, see image on page 8. In case of difficulties with the dismantling the process can be assisted using a rubber mallet.



2 At this point, you may already be able to simply pull the tubes apart. If the tubes are difficult to remove from the cage, you can use the dismantling tool. Slip the nose of the tool into the slit of the cage and pry it open.



3 You can now pull one tube out of the cage and remove the cage from the other tube.



4 Finally wash all components with clean warm water so that they are ready to be reused or stored.



C. Instructions

Individual tube replacement



For this process, the dismantling tool, the torque wrench, the jaw wrench and the coupling opener are required. Please only use the provided tools for these steps. Note: Make sure to use the required torque depending on the coupling type:
Standard = 40 Nm, Slim = 25 Nm.



16



1 For the replacement of single tubes, you need to use a green maintenance coupling. The difference to the blue standard couplings is the missing spacer in the middle of the cage, that allows you to push the cage completely over the tube.



2 For replacing a tube you will need one standard coupling that is to be pushed over one end of the replacement tube.



3 Push the nut and the cage of the maintenance coupling completely over the other end of the new tube. Slide the other green nut over the end of the already installed tube.



4 Now take the tube and push the standard coupling at a very flat angle into the already installed tube of the system. Be sure to avoid glass to glass contact on the other end.



5 Now push the cage of the maintenance coupling half way over the other tube.



6 The gap between the tubes must be located in the middle of the coupling. You can now close both couplings with the provided tools.
Note: Make sure to use the required torque depending on the coupling type:
Standard = 40 Nm, Slim = 25 Nm

17

Operating Instructions



Inside Pressure

When operating the photobioreactor make sure to not exceed the specified, maximum operating pressure (for OD 54 mm or 65 mm = 3 bar, for OD 100 mm = 2 bar). Note that the friction of the water flow increases with a square law dependence with the flow speed and therefore higher flow speeds may increase the inside pressure above tolerable levels. Prevent pressure bursts from the pumps.

Temperature

When the outside temperature drops below 0 °C (32 °F) the photobioreactor must be emptied. Freezing water inside the tubes will break the tubes.

Inside cleaning procedure

The tubes are made from borosilicate glass which is chemically resistant. The elastomer of the couplings is EPDM, a material that is known for its high chemical stability which has been proven in the following conditions:

Agent	Chemical Formula	Concentration	Temperature	Duration
Citric acid	$C_6H_8O_7$	1 %	40 °C	50 days
Hydrogenperoxide	H_2O_2	6 %	40 °C	25 days
Sodiumhydroxide	NaOH	4 %	40 °C	20 days
Hydrochloric acid	HCl	3,6 %	40 °C	60 hours
Salt water	NaCl	4 %	40 °C	5 years

The couplings are stable under above conditions. Duration describes the continuous exposure in the given interval (1 day = 24 h).

The exposure of the coupling to a chemical agent may occur in several periods distributed over its lifetime. However, the overall exposure time and chemical impact must not be exceeded beyond the data listed in the above table. Please contact SCHOTT before you use other agents than listed.

When using a pig (cleaning sponge) make sure it is free from sand or similar abrasive agents to prevent scratching the inside of the tubes. Use sponges that are soft enough to move through the U-bends without getting stuck.

Outside cleaning procedure

When cleaning the outside do not use abrasives and make sure to not accidentally scratch the tubes with sand or similar agents attached to the surface.

For the outside cleaning as well as for cooling purposes of the PBR tubes, the use of demineralized water (< 1 µS) is strongly recommended to avoid the sedimentation of scale and others that might reduce the transmission of the glass.

Cleaning with demineralized water can be supported by high pressure washers. Please ask SCHOTT for approval of your special set-up (distance to glass tube, max. allowed pressure, effective angle of spray nozzle, etc.).

For already existing normal dirt & stains common household glass cleaners can be used.

In case of persistent contamination, the use of special adapted industrial cleaners may be required. The selected cleaner needs approval of SCHOTT, in order to avoid any impact to the glass surface or coupling material.

schott.com/pbr

SCHOTT AG, Erich-Schott-Strasse 14
95666 Mitterteich, Germany

Anexo A

Anexo A2

Kaeser: compresores

Compresores de tornillo Serie FSD

Con el reconocido PERFIL SIGMA 

Caudal 9,4 hasta 52,13 m³/min, presión 5,5 – 15 bar



Serie FSD

FSD: el referente de su clase

Con la última generación de la serie FSD, KAESER KOMPRESSOREN eleva a otro nivel la eficiencia y optimización en la entrega del aire comprimido. Compresores de tornillo FSD no solo producen más aire por menos energía, sino que además son versátiles, de simple manejo y mantenimiento, y siempre pensados a favor de la protección medioambiental.

FSD: Equipos de múltiple ahorro

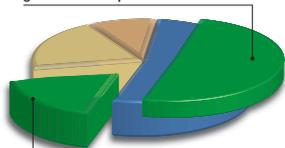
Estos nuevos equipos ahorran energía por muchas razones:

1. El PERFIL SIGMA de los rotores que se ha mejorado, favorece el paso del flujo y optimiza la potencia específica.
2. Los motores IE3 reducen el consumo energético (obligatorios en la UE a partir del 1 de enero de 2015).
3. El accionamiento 1:1 transmite toda la potencia del motor al compresor sin ocasionar pérdidas.
4. El controlador SIGMA CONTROL 2 cuenta con algoritmos de regulación, desarrollados expresamente para mejorar el ahorro energético.

La facilidad de mantenimiento contribuye al ahorro

El atractivo y moderno diseño del exterior de los equipos no es la única novedad. El interior también alberga mejoras que aumentan su eficiencia: Todos los componentes relevantes para reparaciones y mantenimiento son accesibles directamente desde la parte frontal. De esta manera, se ahorra tiempo en los trabajos de mantenimiento y se reducen los costos en el servicio.

Costos de energía que se pueden ahorrar gracias a la recuperación del calor



Costos de energía que se ahorran gracias a la optimización técnica

Perfectos para estaciones de aire

Compresores de tornillo de la serie FSD son los componentes perfectos para las estaciones industriales de aire comprimido que buscan una alta eficiencia energética. Su controlador, el SIGMA CONTROL 2, ofrece un gran número de canales de comunicación, lo cual permite conectar sin problemas los equipos individuales a controladores maestros, como el SIGMA AIR MANAGER 4.0 de KAESER KOMPRESSOREN, así como a otros sistemas superiores de mando.

Mejor enfriamiento

El concepto de enfriamiento KAESER ofrece ventajas que saltan a la vista: El aire que se aspira de la atmósfera no está "precalentado", lo cual mejora su capacidad de enfriamiento. Además, resulta muy sencillo controlar el estado del enfriador y, en caso de ser necesario, se puede limpiar fácilmente desde afuera.

Costos de energía reducidos y gran facilidad de mantenimiento



Imagen: FSD 571 SFC con velocidad variable



Serie FSD

**Eficiencia con la calidad KAESER,
en todos los aspectos**



PERFIL SIGMA: Ahorro de energía

El componente principal de los equipos FSD es su unidad compresora de tornillo con el económico PERFIL SIGMA. Hemos optimizado este perfil para mejorar el flujo del aire, logrando grandes avances en la eficiencia energética de los equipos.



Controlador SIGMA CONTROL 2

El controlador SIGMA CONTROL 2 controla y regula eficazmente el funcionamiento del compresor. La pantalla y el lector RFID simplifican la comunicación y la seguridad operativa. Las interfaces variables ofrecen una gran flexibilidad, mientras que la ranura para tarjetas SD facilita las actualizaciones.



Motores de bajo consumo IE3

Mucho antes de que los motores IE3 fueran obligatorios (UE: 1 de enero de 2015), los operadores de compresores de tornillo FSD KAESER ya podían disfrutar de todas las ventajas del ahorro de energía que permiten obtener estos motores de altísima eficiencia.



Eficiente ventilador radial

El ventilador radial aspira el aire frío de la atmósfera con fuerza y de manera silenciosa a través de los enfriadores. Gracias a su alta presión residual (línea característica estable), las partículas de suciedad que pudieran desprenderse del enfriador no le afectan tanto, y además, tiene reservas suficientes para la conexión de canales de salida largos.

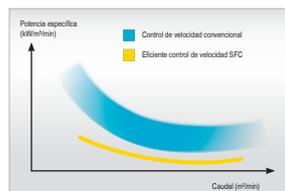
Serie FSD SFC

Compresor de frecuencia variable óptimos y eficientes.



Imagen: FSD 571 SFC

Boquillas de engrase para el motor de accionamiento y el del ventilador



Potencia específica optimizada

El compresor de frecuencia variable es el que soporta la mayor parte de la carga de la estación. Por eso, los modelos FSD-SFC están concebidos para obtener la máxima eficiencia y evitar velocidades de giro extremas, con lo cual se ahorra energía, prolonga la vida útil de los equipos y se mejora la confiabilidad.



Presión constante

Es posible ajustar el caudal a la demanda real de aire dentro de la gama de control en función de la presión. La presión de servicio queda constante siempre en un margen de $\pm 0,1$ bar. De esa forma es posible reducir la presión máxima, ahorrando energía y dinero.



Cabina eléctrica SFC separada

Al encontrarse alojado en una cabina propia y aislado térmicamente, el convertidor SFC no está expuesto al calor que irradia el compresor. Su ventilador genera un ambiente ideal para obtener el máximo rendimiento, alargando también su vida útil.



Equipo completo con certificado EMC

La tolerancia electromagnética, en redes industriales de la clase A1 de la cabina eléctrica del SFC y del SIGMA CONTROL 2 como equipos individuales y como equipo combinado, está controlada y certificada de acuerdo a la norma EN 55011.



Serie FSD

Circuito refrigerante orientado al futuro con ventilación independiente



Baja temperatura final del aire comprimido

El post-enfriador de aire comprimido es de grandes dimensiones y se encuentra en el exterior de la máquina, lo cual le permite obtener una temperatura final baja del aire comprimido, incluso en condiciones de aspiración desfavorables. Gracias a esta baja temperatura del aire comprimido, se reduce la carga de los componentes de tratamiento conectados a continuación y se ahorra energía.



Baja temperatura de servicio

Las grandes superficies del refrigerador de aceite permiten alcanzar temperaturas de servicio y finales de compresión reducidas, incluso en condiciones de aspiración poco favorables. Esto aumenta enormemente la confiabilidad y eficiencia de los equipos FSD.



Limpeza de los enfriadores desde el exterior

Al contrario que los enfriadores internos, los intercambiadores de calor instalados en el exterior de los compresores FSD son fáciles de acceder y limpiar. Esto aumenta la seguridad de funcionamiento y la disponibilidad del aire comprimido, a la vez que permite un mayor ahorro en los costos de mantenimiento.



Salida de aire con alta presión residual

El ventilador radial integrado es eficiente y tiene una presión residual muy alta. Ofrece las mejores condiciones de enfriamiento del compresor y permite expulsar el aire caliente por medio de canales, normalmente sin ventilador auxiliar adicional.

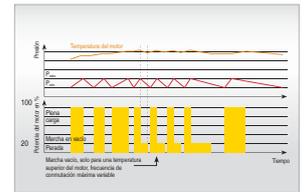
Serie FSD

Soluciones inteligentes específicas



Intercambiador de calor a pedido

Los equipos enfriados por agua pueden llevar intercambiadores de calor de placas o de tubos, dependiendo de la calidad del agua. Nuestros expertos en aire comprimido le asesorarán sobre cuál es el intercambiador más conveniente para su caso particular.



Eficiente modo operativo Dynamic

El modo operativo Dynamic tiene en cuenta la temperatura de los devanados del motor para calcular los tiempos de operación en reposo. Así se reduce el vacío y se consume menos energía. El SIGMA CONTROL 2 lleva otros modos de regulación seleccionables en todo momento.



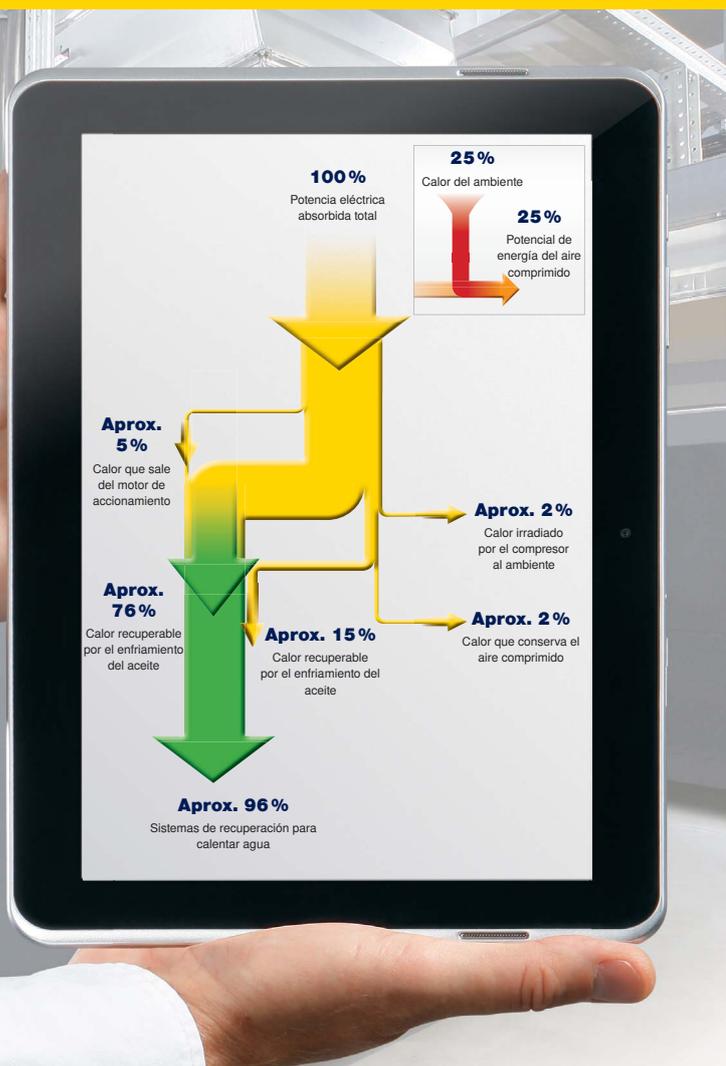
Motores eléctricos lubricables desde el exterior

La lubricación de los motores se realiza con el equipo en marcha. En el caso de los sistemas FSD se pueden realizar con total seguridad, ya que se puede realizar desde fuera. La posibilidad de lubricación exterior vale tanto para el motor del compresor como para el motor del ventilador.



Fácil mantenimiento

Al filtro de aire se tiene fácil acceso desde la parte frontal del equipo. Del mismo modo, es posible trabajar en todas las piezas de mantenimiento con comodidad. Esto acelera los trabajos de mantenimiento y asistencia, al tiempo que reduce los costos de funcionamiento.



Serie FSD

Recuperación del calor



Sistemas de recuperación térmica para calentar agua

El sistema conformado por el intercambiador de calor de placas, la válvula termostática y la tubería, todo integrado perfectamente dentro de la cabina sin demandar mayor espacio, permite recuperar el 76 % de la potencia total consumida por los compresores. FSD con el propósito de calentar agua.



Calefacción de ambientes con aire caliente

Calefacción de manera fácil: El calor que sale (aire refrigerante) de compresores puede recuperarse fácilmente gracias a la alta presión residual de los ventiladores radiales. Es posible llevar el aire caliente que sale de los compresores a cuartos aledaños que necesiten calefacción de manera sencilla y regularlo por termostato.



Agua para procesos, calefacción y de consumo

Con los sistemas de intercambiadores de calor PTG y SWT es posible producir agua para procesos y de consumo hasta 70 °C (en caso de necesidad, incluso hasta 90 °C) solo con el calor irradiado por compresores. Si necesita temperaturas más altas, éstas deberán comprobarse de forma individual y en función del proyecto.



Con la recuperación del calor, todo son ventajas

Los compresores convierten en energía térmica el 100 % de la electricidad que consumen. De ese total, puede aprovecharse nada más y nada menos que hasta el 96 %. ¡Aproveche esta gran posibilidad!



Componentes

Equipo completo

Listo para poner a operar de forma totalmente automática, superinsonorizado, aislado anti vibratorio, paneles con revestimiento de pintura sinterizada, funcionamiento a temperaturas ambiente de hasta +45 °C.

Insonorización

Revestimiento de lana mineral laminada

Aislamiento anti vibratorio

Elementos metálicos, aislamiento doble.

Unidad compresora

De una etapa, con inyección de aceite refrigerante para el óptimo enfriamiento de los rotores, unidad compresora original KAESER con PERFIL SIGMA



Unidad compresora de tornillo con el eficiente PERFIL SIGMA

Operación

Operación directa sin engranajes, acoplamiento flexible.

Motor eléctrico

Motor Premium Efficiency IE3, fabricación alemana, IP 55, ISO F como reserva adicional; sensor de coeficiente positivo de temperatura PT100 para vigilancia del motor; engrase de los rodamientos posible desde el exterior.

Conexión motor eléctrico-unidad compresora

Brida del empalme de fundición.

Componentes eléctricos

Cabina eléctrica IP 54; arranque automático estrella-triángulo; disparador de sobretensión; transformador de control, contactos secos (sin potencia) para sistema de ventilación.

Circuito de aceite y aire refrigerante

Filtro de aire seco, válvula neumática de entrada y salida; tanque de aceite refrigerante con sistema de separación triple; válvula de seguridad, válvula retención-presión mínima, válvula térmica y microfiltro en el circuito de aceite refrigerante; todos los conductos recubiertos, conexiones elásticas.

Enfriamiento

Enfriamiento por aire; enfriadores de aluminio separados para aire comprimido y aceite refrigerante, ventilador radial con motor eléctrico separado, lubricable desde el exterior; opción de enfriamiento por agua; con intercambiador de calor de placas o de tubos.

Recuperación del calor (opcional)

Sistema intercambiador de calor de placas PTG o intercambiador de calor de seguridad SWT disponible de forma opcional; instalación externa.



SIGMA CONTROL 2

LED en los colores de un semáforo para indicación del estado de servicio; pantalla de texto claro, 30 idiomas a elegir, teclas de membrana con pictogramas; vigilancia totalmente automática y modos operativos integrados y seleccionables Dual, Quadro, Vario, Dynamic y Continua; interfaces: Interfaces Ethernet; módulos de comunicación adicionales y opcionales para Profibus, Modbus, Profinet y Devicenet. Ranura para la tarjeta SD para registro de datos y actualizaciones. Lector RFID, servidor de red.

Especificaciones técnicas

Versión básica

Modelo	Presión de servicio bar	Caudal *) instalación completa a presión de servicio m³/min	Presión máx. de servicio bar	Potencia nominal motor kW	Dimensiones an x prof x al mm	Conexión de aire comprimido	Nivel de presión acústica *) dB(A)	Peso kg
FSD 471	7,5	47,10	8	250	3000 x 2143 x 2360	DN 125 PN 16 DIN	79	6625
	10	40,50	10					
	12	35,50	12					
FSD 571	7,5	57,20	8	315	3000 x 2143 x 2360	DN 125 PN 16 DIN	79	6900
	10	46,40	12					
	13	39,45	13,5					
	15	34,40	15					



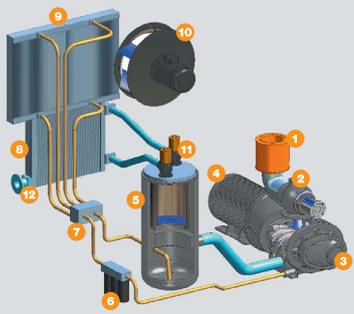
Versión SFC con velocidad variable

Modelo	Presión de servicio bar	Caudal *) instalación completa a presión de servicio m³/min	Presión máx. de servicio bar	Potencia nominal motor kW	Dimensiones an x prof x al mm	Conexión de aire comprimido	Nivel de presión acústica *) dB(A)	Peso kg
FSD 571 SFC	7,5	13,3 - 52,13	8,5	315	3610 x 2143 x 2360	DN 125 PN16 DIN	80 (refrig. por aire)	7610
	10	9,80 - 45,10	15					
	13	9,40 - 38,70	15					



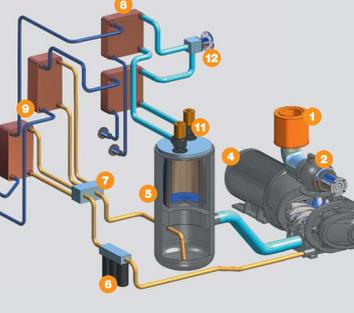
*) Caudal total según ISO 1217: 2009, anexo C: presión absoluta de entrada 1 bar (a), temperatura de enfriamiento y del aire de entrada 20 °C.
 **) Nivel de presión acústica de acuerdo a la norma la ISO 2151 y la norma de base ISO 9614-2, tolerancia: ± 3 dB (A)

Estructura...



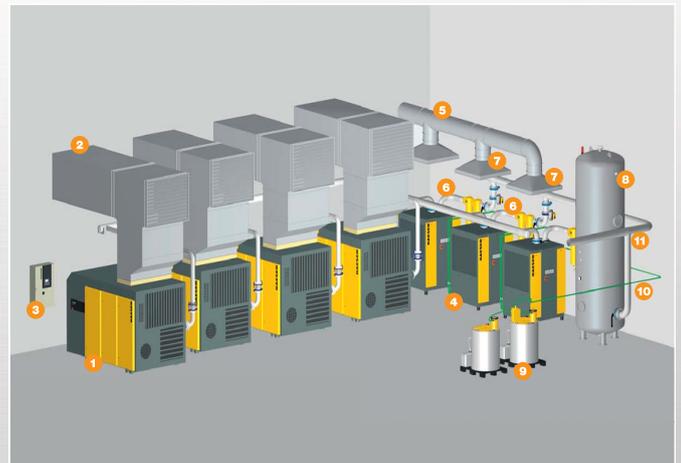
... enfriamiento por aire

- 1 Filtro de admisión
- 2 Válvula de admisión
- 3 Unidad compresora
- 4 Motor de accionamiento Premium Efficiency
- 5 Tanque separador de aceite
- 6 Filtro de aceite
- 7 Válvula térmica
- 8 Post-enfriador de aire comprimido
- 9 Enfriador de aceite
- 10 Ventilador radial
- 11 Válvula de retención/presión mínima
- 12 Salida de aire comprimido



... enfriamiento por agua

- 1 Filtro de admisión
- 2 Válvula de admisión
- 3 Unidad compresora
- 4 Motor de accionamiento Premium Efficiency
- 5 Tanque separador de aceite
- 6 Filtro de aceite
- 7 Válvula térmica
- 8 Enfriador de aire
- 9 Enfriador de aceite
- 10 Conexiones agua de enfriamiento
- 11 Válvula de retención/presión mínima
- 12 Salida de aire comprimido



- 1 Compresor de tornillo
- 2 Canal de salida de aire para compresor de tornillo
- 3 Sistema de control de alto nivel SIGMA AIR MANAGER 4.0
- 4 Secador refrigerativo (redundante)
- 5 Drenaje de aire del secador refrigerativo
- 6 Filtración (redundante)
- 7 Sistema electrónico de mantenimiento de presión (redundante)
- 8 Tanque de almacenamiento de aire comprimido
- 9 Sistema de tratamiento de condensados AQUAMAT
- 10 Conducciones de condensado
- 11 Tuberías de aire comprimido

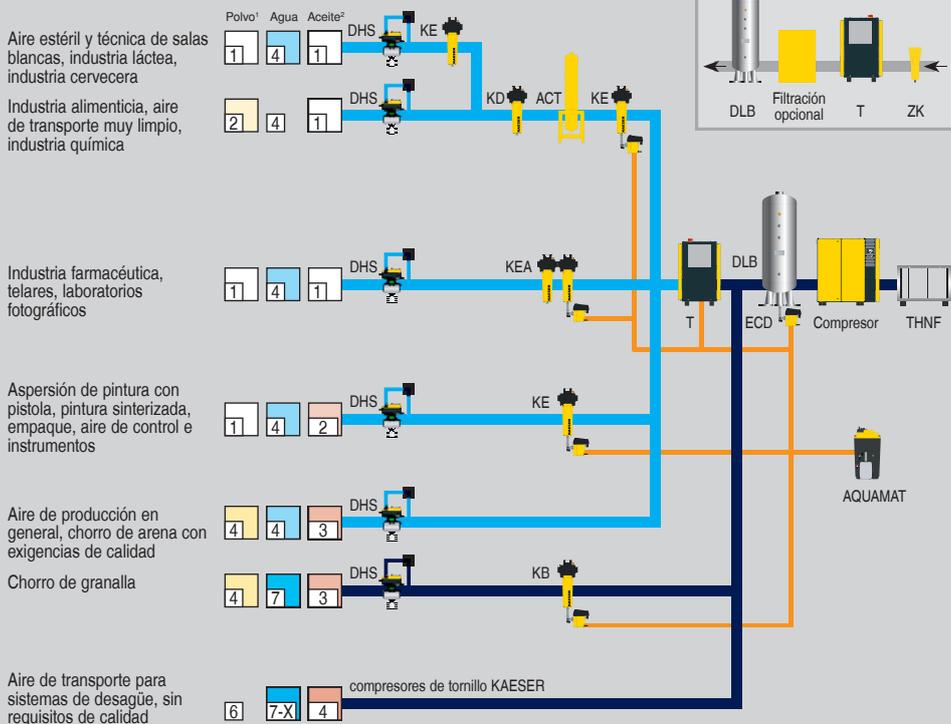
Ejemplo de planificación de una estación de aire comprimido con compresores de tornillo FSD y tratamiento del aire comprimido con secadores refrigerativos de bajo consumo energético.

Planificamos individualmente y teniendo en cuenta las condiciones especiales en particular. Incluye tratamiento del aire comprimido, drenaje de aire, tuberías de aire comprimido y conducciones de condensado.

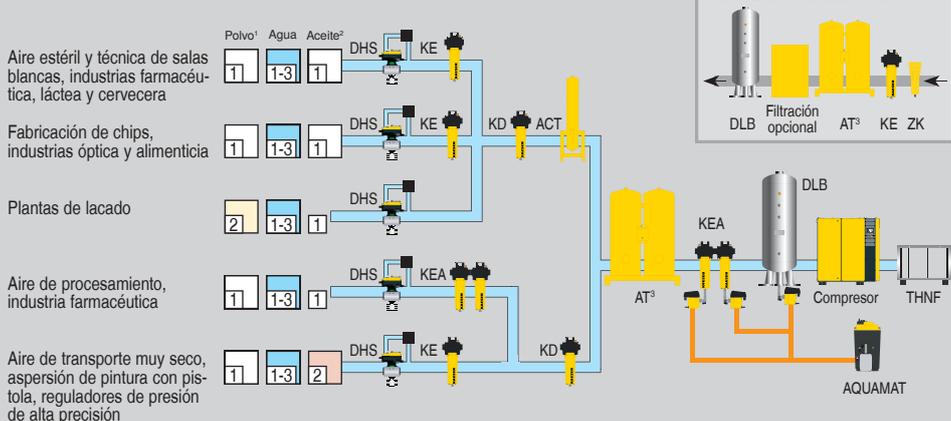
Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades:

Ejemplos de uso: Grados de tratamiento según la ISO 8573-1 (2010)

Tratamiento del aire comprimido con secadores refrigerativos



Tratamiento de aire comprimido con secador desecante



¹ Clase de partículas que se logra con entubado y arranque inicial realizados por un profesional.
² Contenido total de aceite que se logra con los aceites para compresores recomendados y aire de aspiración sin cargas.
³ A continuación de los secadores desecantes regenerados por calor, es preciso instalar filtros de alta temperatura y, si es necesario, un posenfriador.
⁴ Para aplicaciones críticas, que exijan una gran pureza del aire comprimido (por ejemplo, en los sectores de la electrónica y la óptica) es recomendable instalar una combinación extra de filtros KB y KE.

Explicaciones	
ACT	Torre de carbón activado
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Secador de adsorción
DHS	Sistema de mantenimiento de la presión
DLB	Tanque de almac. de aire comprimido
ECD	Drenaje electrónico ECO-DRAIN
KA	Filtro de carbón activado
KB	Filtro coalescente básico
KBE	Combinación de filtrado - Extra
KD	Filtro de partículas
KE	Filtro coalescente extra
KEA	Combinación de filtrado - Carbón extra
T	Secador refrigerativo
THNF	Prefiltro de alta polución
ZK	Separador centrífugo

Clases de calidad de aire comprim. según la norma ISO 8573-1(2010):

Partículas / polvo			
Clase	Nº máx. de partículas por m ³ Tamaño de part. d en µm *		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	no definido	≤ 90.000	≤ 1.000
4	no definido	no definido	≤ 10.000
5	no definido	no definido	≤ 100.000
Clase	Concentración partículas C _p en mg/m ³ *		
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Agua	
Clase	Punto de rocío de presión, en °C
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Clase	Concentración agua líquida C _w en g/m ³ *
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Aceite	
Clase	Concentración de aceite total (líquido, aerosol + gas), en mg/m ³ *
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	≤ 5,0

*) En condiciones de referencia 20 °C, 1 bar(abs), 0% humedad relativa.



KAESER COMPRESORES DE ARGENTINA SRL

Ruta Panamericana – ramal Campana Km 37,500 – Centro Industrial Garín
 Calle Haendel Lote 33 – (1619) Garín, Buenos Aires – República Argentina
 Tel: +54 0 3327 41 4800 – Fax: +54 0 3327 41 4836 – E-mail: info.argentina@kaeser.com – www.kaeser.com

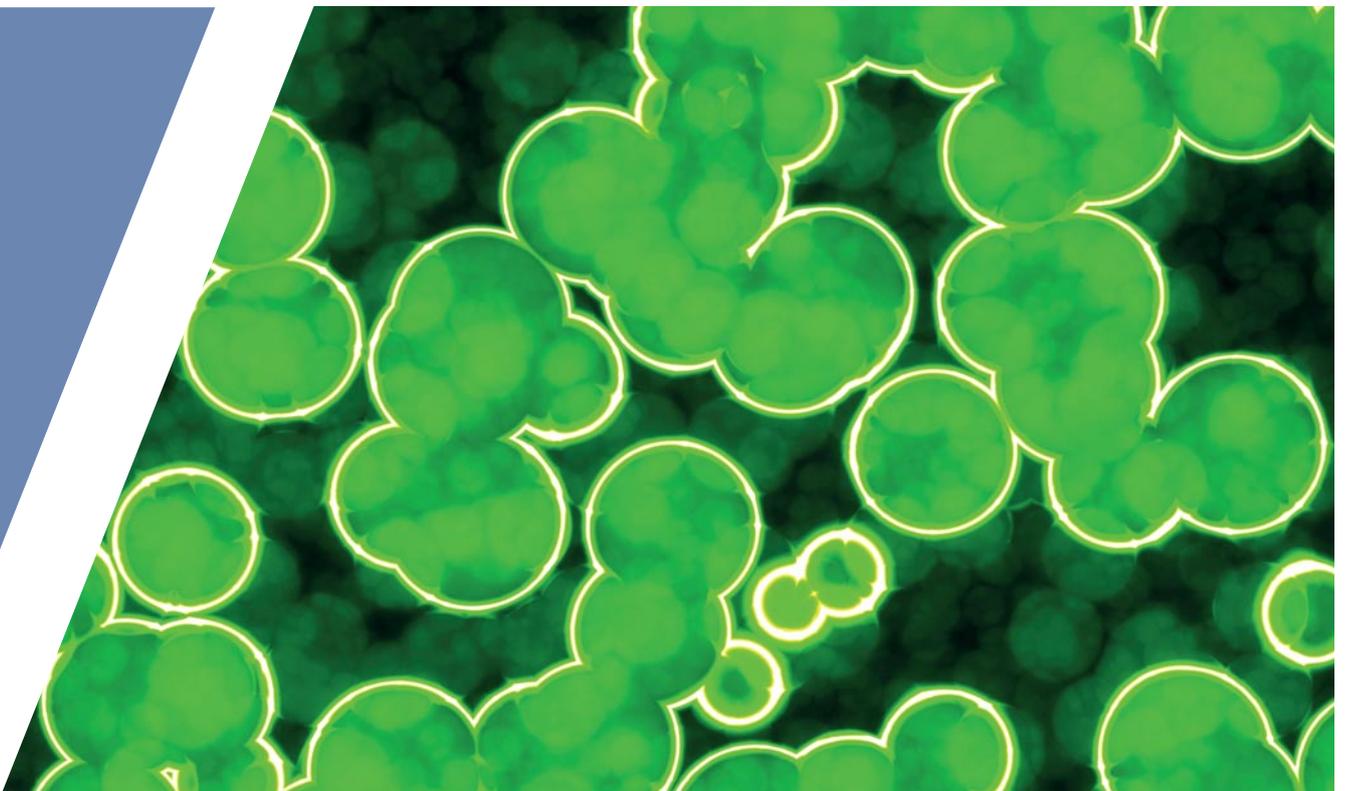
Anexo A

Anexo A3

Flottweg: tecnologías de separación



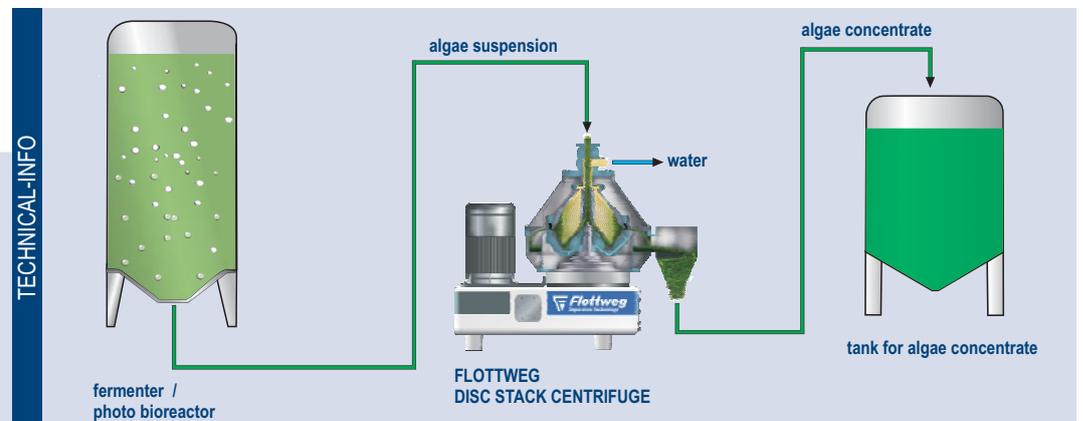
FLOTTWEG CENTRIFUGES
For Efficient Algae Harvesting



EFFICIENT ALGAE HARVESTING

Via Centrifugal Separation

Currently, algae are increasingly being used as raw materials for cosmetics, food products, and biofuels. Algae grow in cultivation ponds or photobioreactors before they are harvested. Harvesting is defined as the separation of algae from a growing medium. Techniques for harvesting algae include settling or flotation, centrifugation, and filtration. In any case, it is the harvesting method which is crucial to the efficiency of the entire process in terms of investments as well as operation costs. The key items are high cake dryness in the separated algae and low specific energy demand during the process.



Algae harvesting using the disc stack centrifuge

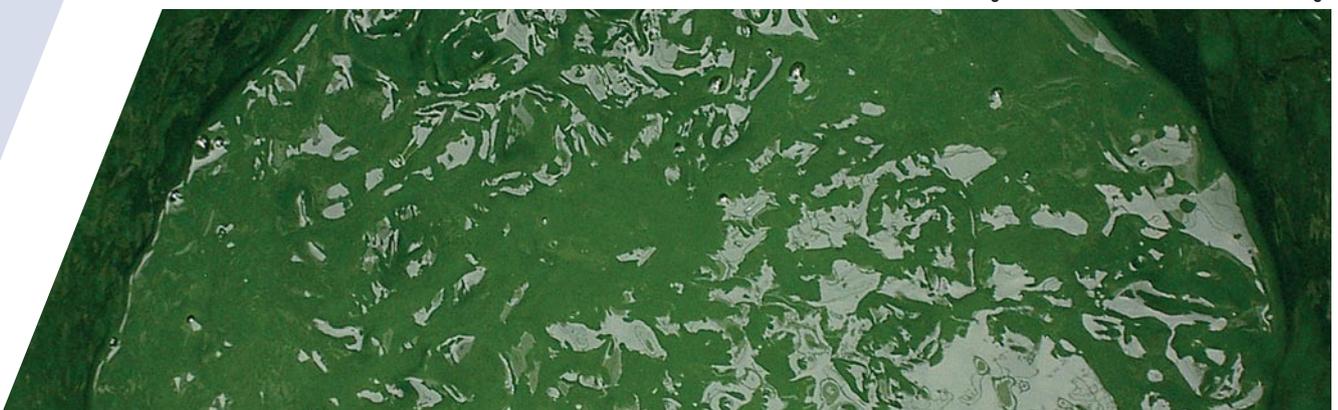
SINGLE-STAGE HARVESTING USING DISC STACK CENTRIFUGES

The algae suspension is fed directly into the centrifuge. Inside the centrifuge the suspension is separated into a mostly clear water phase and an algae concentrate. The algae concentrate is discharged periodically and has a fluid / creamy consistency. Since the whole suspension has to be put into rotation to create a centrifugal force up to 10,000 g's, the specific energy demand is relatively high. Therefore, this process is suitable especially for small and middle-sized facilities.



FLOTTWEG disc stack centrifuge

Algae concentrate after the disc stack centrifuge



NEW ENALGY PROCESS WITH THE FLOTTWEG SEDICANTER®

The Solution for Industrial Scale



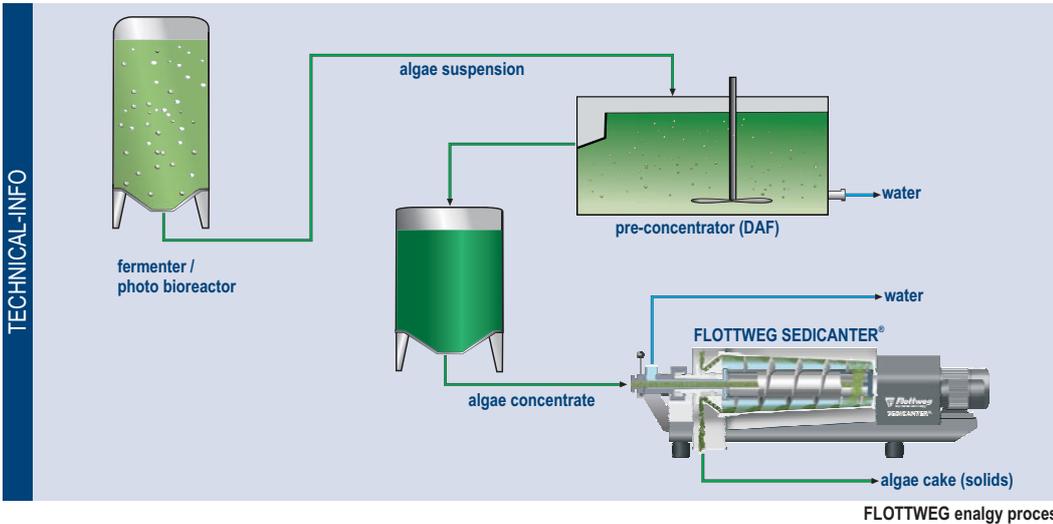
THE FLOTTWEG APPROACH: TWO-STAGE HARVESTING VIA THE ENALGY PROCESS

The FLOTTWEG enalgy process is a two-stage process consisting of pre-concentration via static settler, filtration, flocculation or dissolved air floatation (DAF) and the bulk harvesting using the FLOTTWEG SEDICANTER® in order to dewater the algae concentrate. In contrast to the single stage process only a small part of the algae suspension is separated by centrifugation thus reducing the energy demand drastically. While the pre-concentrator provides a clear water phase, the FLOTTWEG SEDICANTER® dewateres the algae concentrate to obtain a solids cake with 22 – 25 % dry substance.

QUALITY “MADE IN GERMANY”



FLOTTWEG is ISO 9001 certified and manufactures its products in compliance with all the latest technical standards.



Your advantages

- up to 25 % less investment costs*
- up to 60 % less operational costs (energy, water, etc.)*
- high cake dryness – therefore lower costs during further treatment.

* (based on 120 m³/h flow rate out of the reactor)



Algae cake after the SEDICANTER®





Flottweg SE
Industriestraße 6-8
84137 Vilsbiburg
Deutschland (Germany)

Tel.: +49 8741 301-0
Fax: +49 8741 301-300

mail@flottweg.com
www.flottweg.com

REPRESENTATIVE

Anexo A

Anexo A4

Sedicanter



SEDICANTER® FLOTTWEG
Descubra nuevas aplicaciones



DESCUBRA NUEVAS APLICACIONES

El Sedicanter® Flottweg para el procesamiento de productos finos y pastosos

El Sedicanter® Flottweg es una centrífuga a tambor macizo con tornillo sinfín (decantadora) que combina las ventajas de las decantadoras y de las centrífugas de discos. El campo de centrifugación del Sedicanter® es entre 7000 y 10000 x g. Por esta razón, la eficiencia de clarificación es parecida a la de las centrífugas de discos.

Simultáneamente y gracias a su construcción, el Sedicanter® puede procesar – como las decantadoras – altas cantidades de sólidos en la alimentación.

A diferencia de las decantadoras, el Sedicanter® puede procesar sólidos finos y pastosos los que, debido a su consistencia, son difíciles de descargar de una decantadora.

En los diferentes campos de aplicación del Sedicanter® se incluyen los llamados “productos blandos”, tales como biomasa, suspensiones de levaduras y proteínas, caldos de fermentación, etc.

COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA DECANTADORA, DE LA CENTRÍFUGA DE DISCOS Y DEL SEDICANTER®



DECANTADORA

- + Altas cantidades de sólidos en la alimentación
- + Adaptación fácil a variaciones de sólidos en la alimentación
- Eficiencia limitada de separación comparada con las centrífugas de discos



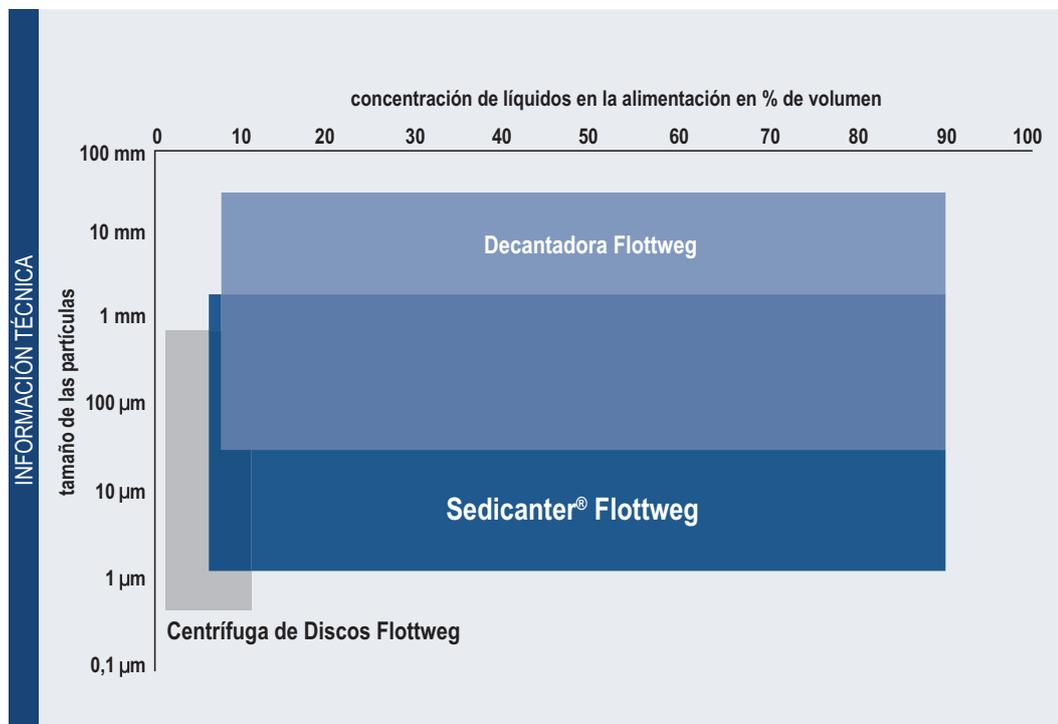
CENTRÍFUGA DE DISCOS

- + Alta eficiencia de separación y de clarificación
- Adaptación difícil a variaciones de sólidos en la alimentación
- Capacidad limitada en el caso de altas cantidades de sólidos



SEDICANTER®

- + Altas cantidades de sólidos en la alimentación
- + Adaptación fácil a variaciones de sólidos en la alimentación
- + Alta eficiencia de separación y de clarificación



Comparación de los campos de aplicación de los Sedicanter®, las decantadoras y centrifugas de discos en función del tamaño de las partículas y la concentración de sólidos en la alimentación

Ventajas del Sedicanter® Flottweg

- Separación eficaz de suspensiones en la cual las decantadoras y las centrifugas de discos sólo suministran resultados de separación insuficientes
- Procesamiento de suspensiones con sólidos blandos, pastosos y fluidos (levaduras, proteínas, etc.)
- Altas fuerzas centrífugas resultan en una separación eficaz de los sólidos y en la clarificación máxima de los líquidos, como si fueron tratados con una centrífuga de discos



CAMPOS DE APLICACIONES DEL SEDICANTER®

Sobrevista de las aplicaciones y ejemplos

En comparación con otras centrifugas industriales, el Sedicanter® resulta ser la solución óptima para separar sólidos finos y blandos de suspensiones en la más alta concentración posible. Los Sedicanter® Flottweg trabajan con éxito en las siguientes aplicaciones:

BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL

La separación eficiente de la biomasa proveniente de caldos de fermentación es una aplicación clave del Sedicanter®. Se utiliza en la biotecnología industrial, por ejemplo en la producción de vitaminas y enzimas.

LECHE DE SOJA

Es posible incrementar el rendimiento de leche y de proteína. Especialmente en combinación con la trituración fina, el proceso de producción puede ser optimizado.

ALMIDÓN DE TRIGO

En la producción de almidón de trigo el Sedicanter® separa componentes suspendidos en la fase pentosane. Es posible recuperar el almidón fino en diversas etapas del proceso, incrementando así el rendimiento del producto. Se mejora la calidad del agua de proceso.

JARABE DE AZÚCAR

El Sedicanter® separa de manera eficiente proteínas y fibras no deseadas de diversos tipos de jarabe.

ALGAS

Algas pre-concentradas se espesan y se deshidratan. De esta manera es posible realizar un incremento de la eficiencia de energía del proceso de cosecha porque las algas son descargadas en forma de una torta compacta. Por esa razón hay que procesar menos agua.

VINAZA DE ALCOHOL

En la llamada vinaza fina (efluentes de la vinaza tradicional), se puede utilizar el Sedicanter® para realizar la separación del resto de los sólidos. De esa manera se incrementa el rendimiento selectivo en proteínas de la vinaza fina.

EXTRACTOS VEGETALES

El Sedicanter® permite realizar el incremento de los rendimientos de diversos extractos vegetales, también en caso de maceración muy fina. El líquido del proceso puede ser agua o un disolvente.



PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS

En la producción de proteínas vegetales o animales, el Sedicanter® permite realizar una separación eficiente de las proteínas coaguladas, incrementando así el rendimiento en proteína.

RECUPERACIÓN DE LA CERVEZA

El Sedicanter® separa eficazmente la levadura en exceso generada en el proceso de cerveza.

Se producen dos productos de valor: La cerveza se puede reintroducir en el proceso de elaboración de cerveza y la levadura se vende para

el procesamiento ulterior en la industria alimenticia, como complemento alimenticio o como pienso.

Y usted aún no encuentra su aplicación? Nos alegraría contestar sus consultas y solicitudes. Desarrollamos junto con nuestros clientes nuevos potenciales de optimización en las diversas aplicaciones.



Sistema móvil incluyendo un Sedicanter® en versión estanca a gases para ensayos in situ, en las plantas de los clientes



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SEDICANTER®

Un concepto único

El funcionamiento del Sedicanter® es similar a la de una centrífuga a tambor macizo con tornillo sinfín. Una característica de este tipo de centrífugas es un tambor macizo y un tornillo sinfín, ambos situados en el interior del tambor.

La fuerza centrífuga es generada por la rotación del tambor. El **tornillo sinfín** gira a una **velocidad diferencial** relativamente a la del tambor y causa así el transporte de los sólidos separados. El rotor centrífuga completo consiste de un tambor, el tornillo sinfín y el **reductor giratorio** que genera la velocidad diferencial.

EL FUNCIONAMIENTO DEL SEDICANTER® EN DETALLE

INFORMACIÓN TÉCNICA

ACCELERACIÓN DE LA SUSPENSIÓN

La suspensión a ser separada se introduce a través de un tubo de alimentación que llega hasta la parte final del cono largo ❶. Así es posible disponer de la longitud entera de este cono como zona de clarificación. El líquido y los sólidos atraviesan la zona de clarificación en la misma dirección (principio de la corriente en el mismo sentido) ❷ evitando así turbulencias y remezclas y incrementando el efecto de sedimentación. El tambor es construido de manera que el nivel del líquido sea situado la más cerca posible del eje de rotación pudiéndose obtener de esta manera un largo volumen de clarificación. El rotor es diseñado para altas velocidades pudiendo llegar a una aceleración centrífuga máxima de 10.000 x g. En comparación: un decanter convencional llega solamente a 6000 x g.

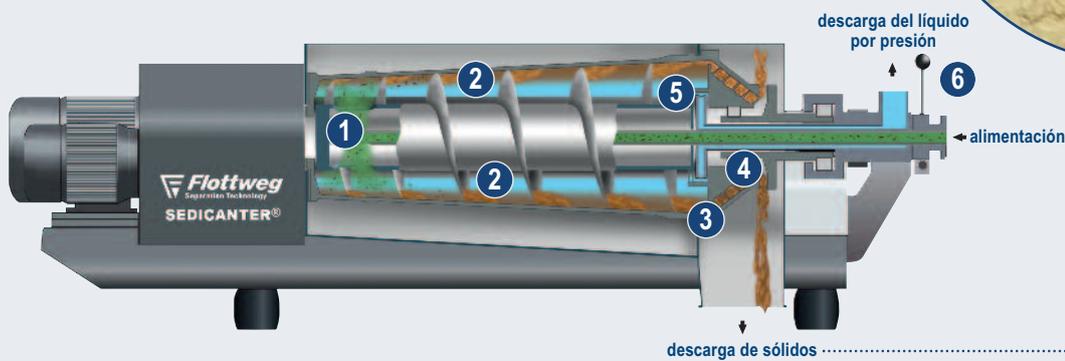
SEPARACIÓN DE LOS SÓLIDOS

Los sólidos separados son conducidos, gracias al tornillo sinfín, a través del cono largo y plano al punto de unión de los dos conos. Allí, donde el radio del tambor es el más largo, se produce la más alta aceleración centrífuga y con ello la máxima compresión sobre los sólidos. En el punto de unión se encuentra un disco anular ❸ que ha sido dimensionado de manera tal que el diámetro exterior se sumerja en el sedimento separado. Los sólidos son prensados a través del espacio libre entre el disco y el tambor y llegan finalmente al cono corto y escarpado donde son descargados de la máquina con ayuda del tornillo sinfín ❹.





Ejemplo de aplicación: Recuperación de la cerveza; alto contenido en materia seca de la levadura separada



DESCARGA DE LOS LÍQUIDOS/CENTRADO

Gracias a un rodete de forma excéntrica que se encuentra al final de la zona de clarificación los líquidos clarificados son descargados de la máquina con presión **5**. Ajustando la palanca, el nivel líquido en el tambor cambia y por esta razón también la presión hidrostática sobre los sólidos **6**, lo que significa que es posible ajustar la compresión y así el contenido en materia seca de los sólidos descargados y la pureza del centrado a través del rodete del exterior sin necesidad de parar la máquina.



EL SEDICANTER® DE UNA MIRADA

Las ventajas



ALTO RENDIMIENTO DE CLARIFICACIÓN

- Alta fuerza centrífuga hasta 10000 x g
- Alto volumen de clarificación, aprovechamiento óptimo del volumen del tambor
- Larga zona de clarificación y principio de corriente en el mismo sentido

Construcción en conformidad con los requerimientos del diseño higiénico gracias



AL MATERIAL DEL TAMBOR

- Todas las soldaduras que están en contacto con el producto son rectificadas de acuerdo a los acabados higiénicos (opcional).
- Todas las superficies son fabricadas con acabados que cumplen con las condiciones específicas de rugosidad.
- Cuentan con juegos de toberas de enjuague dentro de la centrifuga y en el interior del tornillo sinfín.
- Las superficies del tornillo, de la carcasa y del tambor son electropulidos.



AL RODETE AJUSTABLE

- para incrementar el efecto de limpieza del tambor de la centrifuga



A LOS ACCIONAMIENTOS CON VARIADOR DE FRECUENCIA

- para la limpieza automática en caso de bajo torque



Adaptación óptima a requerimientos especiales del producto o del proceso gracias al



RODETE AJUSTABLE

- Rodete ajustable del exterior y sin necesidad de parar la máquina



SIMP DRIVE® FLOTTWEG

- Continuo control de la velocidad diferencial y del tambor dependiente del torque
- A través de estos parámetros es posible realizar un control automático del Sedicanter®

Alto contenido en materia seca en los sólidos gracias al



DISEÑO DEL TAMBOR

- Alta compresión en el campo centrífuga
- Presión hidrostática sobre los sólidos



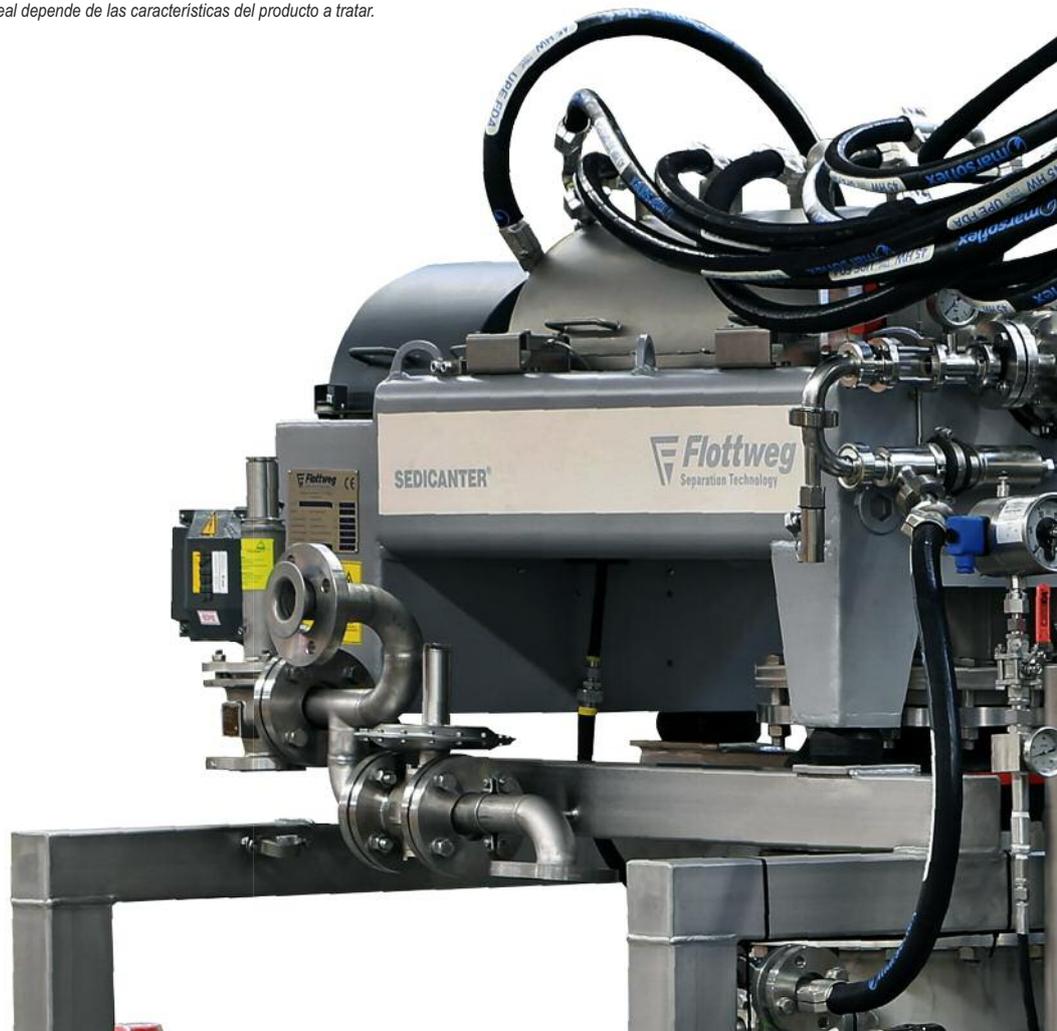
DATOS TÉCNICOS



DATOS TÉCNICOS DEL SEDICANTER® FLOTTWEG			
Modelo	S3E-3	S4E-3	S6E-3
Diámetro del tambor	300 mm	470 mm	670 mm
Velocidad del tambor	7750/rpm	5000/rpm	3650/rpm
Velocidad g máxima	10000	6500	5000
Velocidad diferencial	1,5 – 30/rpm	1,5 – 30/rpm	1,5 – 30/rpm
Materiales de construcción	Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable de alta calidad (1.4571 y superior).		
Dimensiones* (l x a x a)	2304 x 700 x 752 mm	3222 x 1000 x 1200 mm	4527 x 1705 x 1270 mm
Peso bruto*	1050 kg	2400 kg	8580 kg
Potencia del motor Accionamiento del tambor	15 kW	37 kW	75 – 132 kW
Potencia del motor Accionamiento del tornillo Simp Drive® Flottweg	4 kW	5,5 kW	15 kW
Capacidad**	1 t/h	4 – 5 t/h	25 – 40 t/h
Diseño	S3E y S4E equipadas con capot abisagrado, juegos do toberas de enjuague para la carcasa y el tornillo; opcional: superficies electro-pulidas / versión estanca a gases		

* Los datos mencionados son valores orientativos.

** La capacidad real depende de las características del producto a tratar.



LOS SEDICANTERS® FLOTTWEG SON DISPONIBLES EN LAS VERSIONES SIGUIENTES

DISEÑO HIGIÉNICO

para el procesamiento seguro de alimentos así como productos farmacéuticos, químicos y biotecnológicos. Sistema de limpieza completa de todas las partes en contacto con el producto. Todas las partes metálicas y en contacto con el producto son de acero inoxidable austenítico o austeno-ferríticos. Gracias al diseño se evitan fisuras y esquinas de suciedad. Empaques plásticos y juntas en conformidad con las regulaciones de la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA). Juegos de toberas de enjuague para el cuerpo del tornillo y la carcasa. Opcional: superficies electro-pulidas de las partes del tambor y del tornillo



Sistema de ensayos móvil en versión antideflagrante con o sin sistema de purga de gases inertes

VERSIÓN ANTIDEFLAGRANTE

Con o sin purga de gases inertes en conformidad con las normas ATEX en zona 1 y 2 para la utilización en zonas susceptibles a la explosión para procesar productos cuyos vapores junto con el oxígeno forman una mezcla inflamable, por ejemplo solventes.



Flottweg Separation Technology – Engineered For Your Success



Flottweg SE
Industriestraße 6-8
84137 Vilsbiburg
Deutschland (Germany)

Tel.: +49 8741 301-0
Fax: +49 8741 301-300

mail@flottweg.com
www.flottweg.com

REPRESENTANTE

Anexo B

Anexo B1

Diagramas

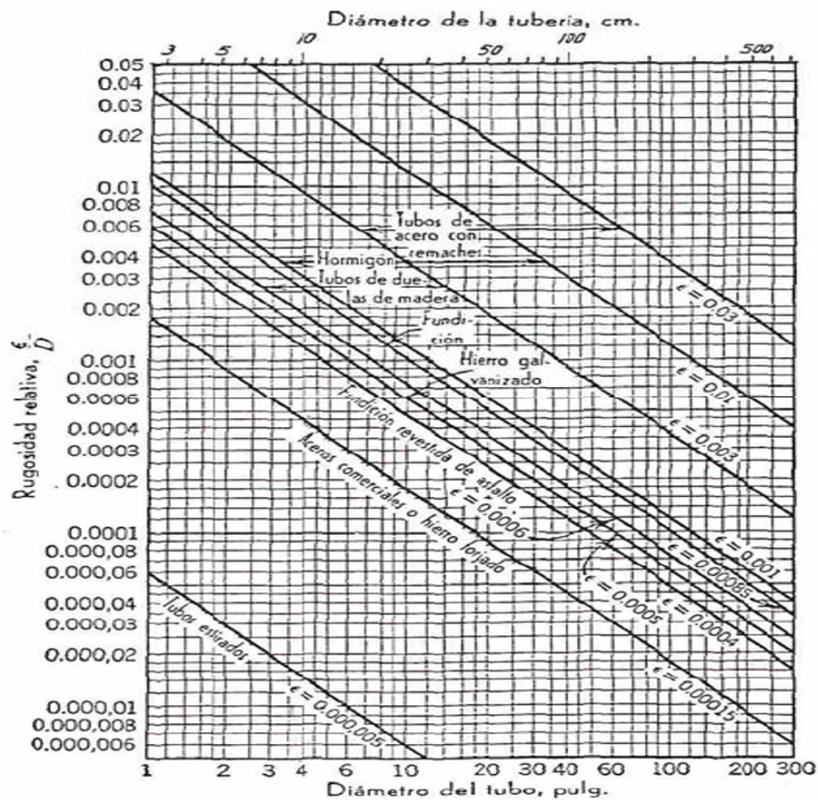


FIG. 126. Rugosidad relativa en función del diámetro, para tubos de diversos materiales.⁽²⁾

Figura B.1: Rugosidad relativa.

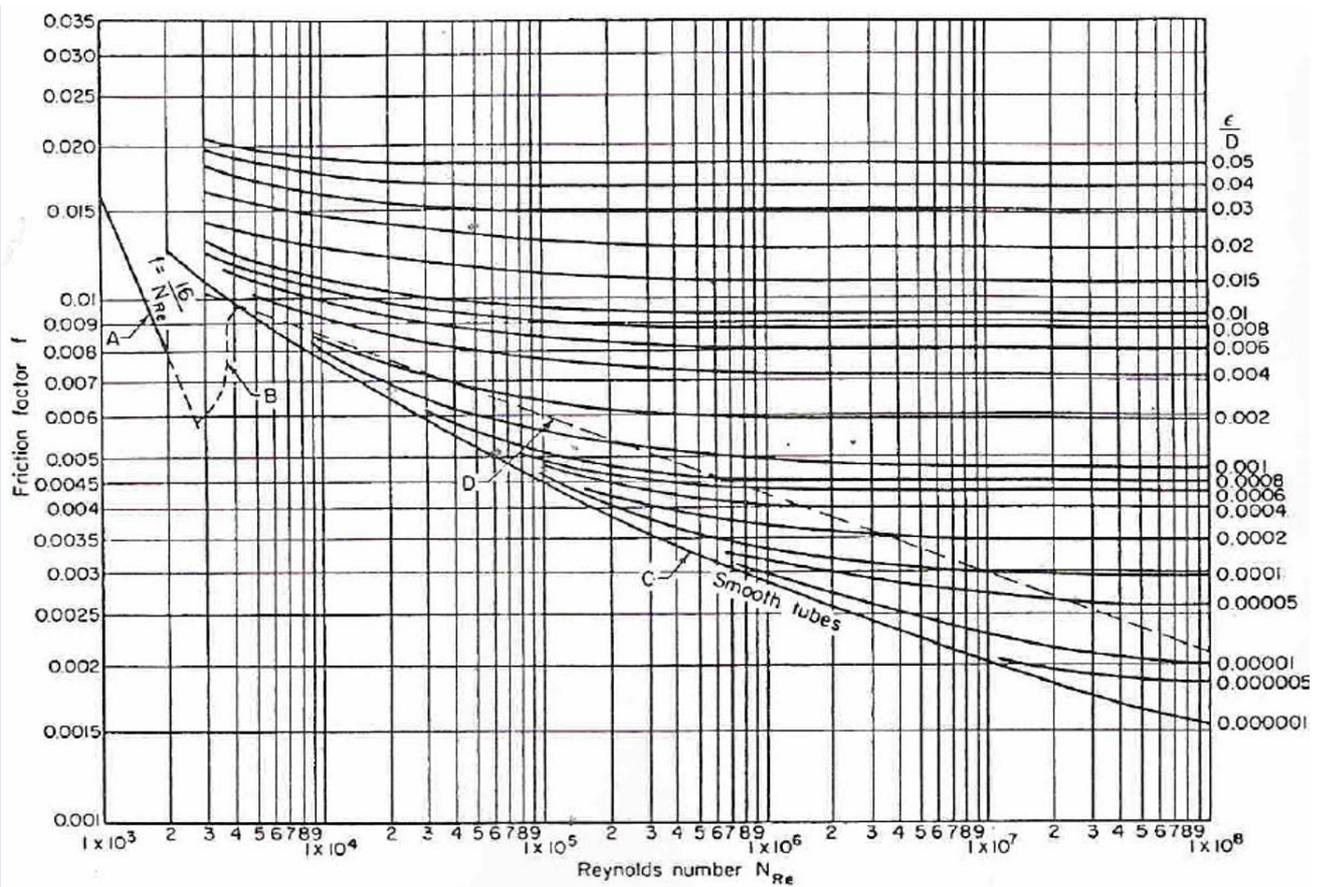


FIG. 5-2B Fanning friction factors. Reynolds number $N_{Re} = DV\rho/\mu$, where D = pipe diameter, V = velocity, ρ = fluid density, and μ = fluid viscosity. [Based on Moody, Trans. Am. Soc. Mech. Eng., 66, 671 (1944).]



Figura B.2: Diagrama de Moody.

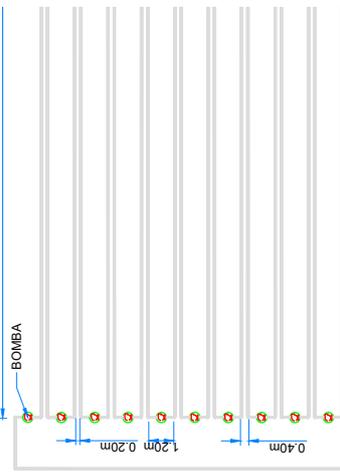
Anexo C

Anexo C

Planos



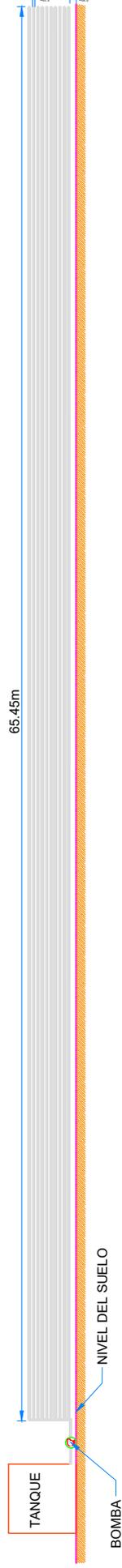
DETALLE N°1



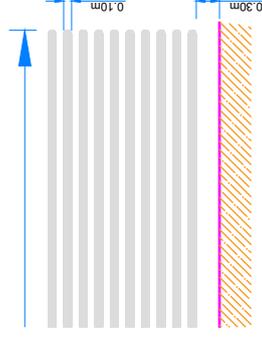
DETALLE N° 2



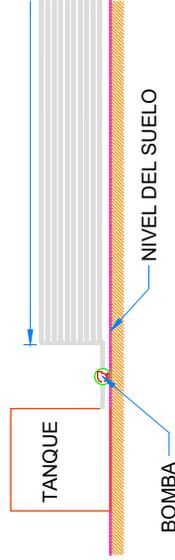
PROYECTO FINAL	
PRODUCCION DE MICROALGAS A PARTIR DE DIOXIDO DE CARBONO Y AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS DE LA INDUSTRIA	
PLANO: FOTOBIOREACTOR	VISADO:
VISTA SUPERIOR	DIBUJANTE: PABLO F. BLAMEY DIBUJANTE: ELIDA M. HABERKORN
FECHA: 26/10/22	LAMINA N°: 1 ESC: VARIAS



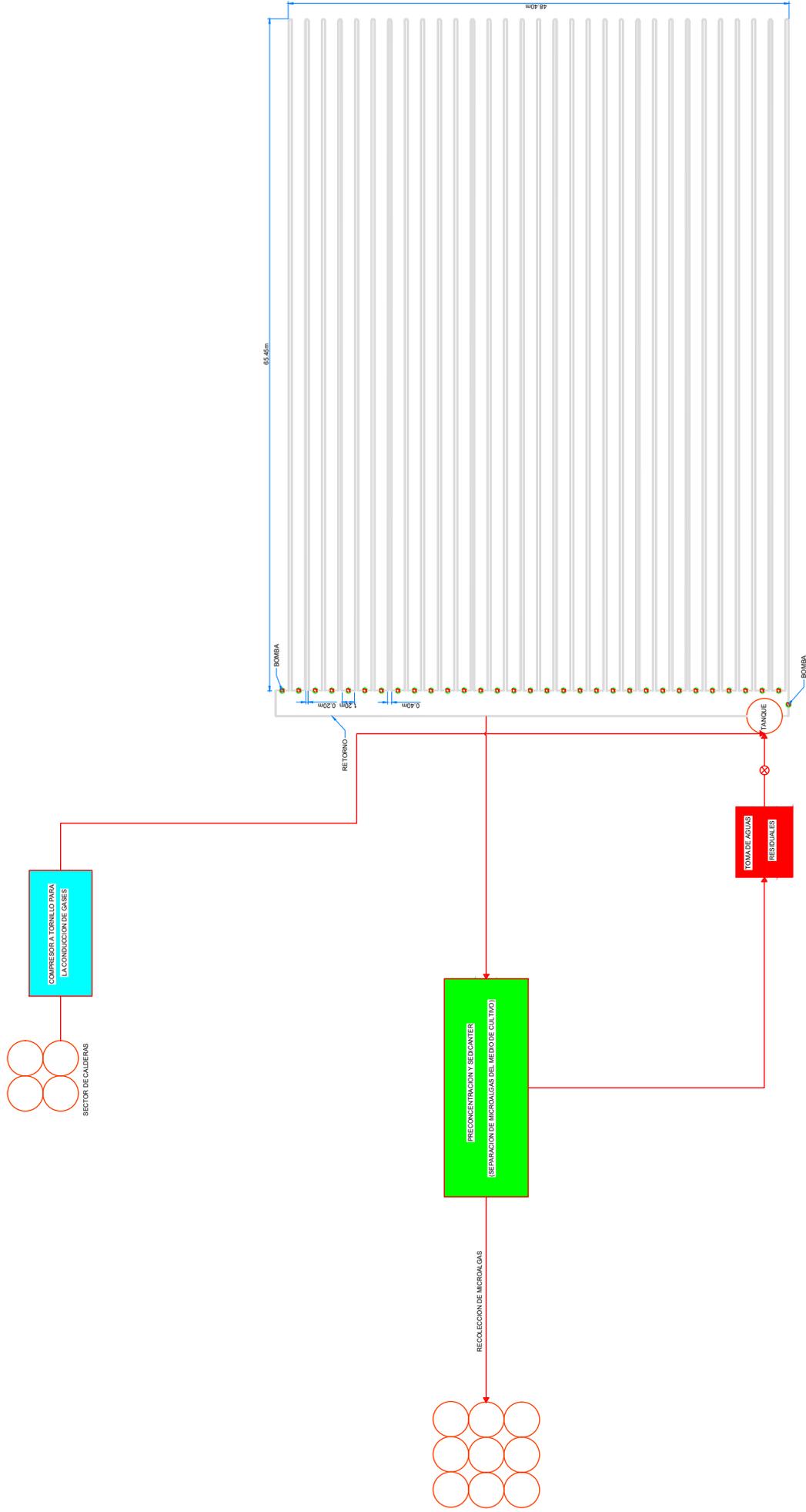
DETALLE N° 2



DETALLE N°1



PROYECTO FINAL			
PRODUCCION DE MICROALGAS A PARTIR DE DIOXIDO DE CARBONO Y AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS DE LA INDUSTRIA			
PLANO: FOTIOREACTOR	VISADO:		
VISTA LATERAL	DIBUJANTE: PABLO F. BLAMEY DIBUJANTE: ELIDA M. HABERKORN		
FECHA: 26/10/22	LAMINA N°: 2	ESC: VARIAS	



PRODUCCION DE MICROALGAS A PARTIR DE DIOXIDO DE CARBONO Y AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS DE LA INDUSTRIA

PROYECTO FINAL

PLANO: FOTOBIOREACTOR

DIBUJANTE: PABLO F. BLAMEY
DIBUJANTE: ELIDA M. HABERKORN

VISADO:

PLANTA SUPERIOR

FECHA: 26/10/22 | LAMINA N°: 3 | ESC: VARIAS

Anexo D

Anexo D

Diseño de Equipos

Fotobiorreactor

A través de la simulación realizada en el Software *R.Studio* en el Capítulo 6, se determinó un volumen fotoactivo de $251,8 \text{ m}^3$. Como se nombró anteriormente el volumen fotoactivo debe ser un 80 % del volumen total, por lo tanto, éste último se calculará como:

$$V_{tot} = \frac{251,8 \text{ m}^3}{80\%} \cdot 100\% \approx 315 \text{ m}^3 \quad (\text{D.1})$$

Una vez obtenido el volumen total, se procedió a calcular cantidad de tubos, vueltas y filas necesarias para construir el fotobiorreactor con dicha capacidad. Para ello se tuvo en cuenta el terreno disponible por parte de Jugos S.A, el espacio entre filas (necesario para que se pueda circular entre ellas y para una eficiente radiación solar) y la cantidad máxima de tubos apilados. El terreno se distribuyó en dos porciones, una de ellas destinada a la instalación de las bombas y el tanque recolector, mientras que el resto del terreno disponible fue optimizado para la instalación del fotobiorreactor.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, las dimensiones del terreno disponible para la instalación del reactor son de $48,4\text{m} \times 65,45\text{m}$ (visualización Anexo C).

Para conocer la cantidad de filas necesarias se tuvo en cuenta las medidas que se pueden observar en el Cuadro D.1.

Se obtuvo que en el terreno se podrían disponer 31 filas con 30 espacios intermedios. Por otro lado, a través de la siguiente ecuación, se calculó el largo necesario.

Cuadro D.1: Especificaciones del fotobiorreactor.

Características	Medida
Espacio entre filas	1,2m
Diámetro del tubo	0,1m
Ancho de la fila	0,4m
Ancho total de la fila	1,6m

$$V_{tot} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (D.2)$$

Obteniéndose de esta manera un largo de 40.107 m. Teniendo en cuenta esto, y que cada vuelta tendrá 130,9m de largo, se concluye un total de 307 vueltas aproximadamente.

Por último, se sabe por información del proveedor y trabajos consultados que la cantidad óptima de vueltas apiladas es de 15. Por lo tanto, la cantidad de vueltas apiladas será calculada de la siguiente manera, obteniéndose 10 vueltas apiladas por fila.

$$Vueltas\ apiladas = \frac{307\ vueltas}{31\ filas} \quad (D.3)$$

Considerando que el largo de cada tubo que posee SCHOTT es de 3,85m, será necesario 34 tubos por vuelta.

Teniendo en cuenta lo todo lo mencionado anteriormente se concluye:

Cuadro D.2: Fotobiorreactor

Características	Medida
Espacio entre filas	1,2m
Ancho total de la fila	1,6m
Tubos	10.540
Filas	31
Vueltas apiladas	10

Como la cantidad de tubos necesarios para el diseño del fotobiorreactor es muy alta, se podría pensar en la posibilidad de conseguir algún proveedor que fabrique tubos más largos o bien, analizar la posibilidad de enviar el diseño del reactor para una fabricación a medida.

Compresor de tornillo libre de aceite y con enfriamiento por aire

La elección del compresor se realizó teniendo en cuenta el caudal de gases que se desea transportar desde la sala de calderas hasta el fotobiorreactor para su alimentación. Las especificaciones técnicas del mismo se pueden observar en el anexo A2.

Se realizó un balance de masa a caja negra a través de los datos de caudal de gas y aire que ingresan a la caldera, utilizando datos brindados por jugos S.A, con el objetivo de conocer el caudal total que gases que producen las calderas humotubulares, el mismo puede observarse en la ecuación D.4 (por confidencialidad, dichos valores no se encuentran en el presente trabajo final de grado). Además, la empresa proporciono los porcentajes de O_2 , CO_2 , N_2 , H_2O y otros gases que se producen en la combustión.

$$Q_{gas} + Q_{aire} = Q_{gases\ de\ combustión} \quad (D.4)$$

Del caudal de total de gases se decidió tratar un máximo de $1667\ m^3/h$ debido al tamaño del terreno disponible por la empresa para la instalación del reactor, y además, teniendo en cuenta que, en la mayor parte del año, las calderas no funcionan al 100%. Sin embargo, se consideró que la producción de Jugos S.A no es contante a lo largo de la semana, por lo que se utilizó una función que simula las variaciones en el caudal. Dicha función se puede visualizar en la figura 6.6.

Conociendo el caudal que se desea tratar en este trabajo y el caudal total liberado por dicha industria, se eligió el compresor de tornillo libre de aceite y con enfriamiento con aire, ya que el mismo puede procesar un caudal máximo de $3066,6\ m^3/h$. Entre todas las opciones que se analizaron, se decidió por la opción brindada por la empresa Kaeser teniendo en cuenta que, entre todas sus ventajas, se puede destacar que los ventiladores de enfriamiento del equipo impulsan el aire caliente de enfriamiento hacia conductos que pueden ser dirigidos a las oficinas de la empresa para calefaccionarlas, disminuyendo de esta forma un costo para Jugos S.A.

Bombas hidráulicas

En total se plantea utilizar 33 bombas, las mismas se pueden observar en el Anexo C. Se propone dicha cantidad con la finalidad de mantener un Reynolds turbulento para evitar que la microalga se adhiera a las paredes de los tubos.

A través de las siguientes ecuaciones (Perry, 2013), se realizó el cálculo para conocer la potencia necesaria de cada bomba.

- Velocidad

$$u(m/s) = \frac{Re \cdot \mu}{D \cdot \rho} \quad (D.5)$$

- Caudal

$$Q(m^3/s) = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot u \quad (D.6)$$

- Rugosidad Relativa

$$Rug_{relativa} = \frac{\epsilon}{D} \quad (D.7)$$

- Factor de fricción

$$f = \frac{1,325}{\left[-\ln\left(\frac{Rug_{relativa}}{3,7}\right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right]^2} \quad (D.8)$$

- Cálculos para la bomba

$$h_f(m) = L \cdot \frac{Q^2 \cdot f}{D^5 \cdot g} \quad (D.9)$$

$$h_b = L + \frac{Q^2}{2 \cdot g} + h_f \quad (D.10)$$

- Potencia de la bomba

$$Potencia = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_b}{746 \cdot Eficiencia} \quad (D.11)$$

Para obtener el valor de la potencia de cada bomba necesaria se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Bomba de impulsión de agua residual.

Cuadro D.3: Parámetros de la bomba

Parámetros	Valor	Unidades
Reynolds	1,00E+05	
Viscosidad	1,00E-03	kg/m.s
Diametro	0,11	m
Gravedad	9,81	m/s ²
Rugosidad	0,0015	
Largo	8	m
Densidad	998	kg/m ³
Eficiencia	0,75	

- Bomba de impulsión tanque - fotobiorreactor.

Cuadro D.4: Parámetros de la bomba

Parámetros	Valor	Unidades
Reynolds	1,00E+05	
Viscosidad	1,00E-03	kg/m.s
Diametro	0,1	m
Gravedad	9,81	m/s ²
Rugosidad	0,0015	
Largo	3,5	m
Densidad	1147,7	kg/m ³
Eficiencia	0,75	

- Bombas de impulsión fotobiorreactor

Cuadro D.5: Parámetros de la bomba

Parámetros	Valor	Unidades
Reynolds	1,00E+05	
Viscosidad	1,00E-03	kg/m.s
Diametro	0,1	m
Gravedad	9,81	m/s ²
Rugosidad	0,0015	
Largo	3,2	m
Densidad	1147,7	kg/m ³
Eficiencia	0,75	

- Bomba de impulsión hacia la recirculación del fotobiorreactor o hacia la centrífuga.

Cuadro D.6: Parámetros de la bomba

Parámetros	Valor	Unidades
Reynolds	1,00E+05	
Viscosidad	1,00E-03	kg/m.s
Diametro	0,1	m
Gravedad	9,81	m/s ²
Rugosidad	0,0015	
Largo	49	m
Densidad	1147,7	kg/m ³
Eficiencia	0,75	

- Bomba centrífuga - aguas residuales

Cuadro D.7: Parámetros de la bomba

Parámetros	Valor	Unidades
Reynolds	1,00E+04	
Viscosidad	1,00E-03	kg/m.s
Diametro	0,11	m
Gravedad	9,81	m/s ²
Rugosidad	0,0015	
Largo	41	m
Densidad	998	kg/m ³
Eficiencia	0,75	

Proceso de separación

Para separar la microalga del medio de cultivo, se realizó una búsqueda de empresas que ofrecen maquinaria para dicho trabajo, ya que la finalidad de este proyecto es diseñar un fotobiorreactor para tratar las emisiones gaseosas de la empresa. Para poder elegir entre las múltiples opciones que existen en el mercado, se tuvo en cuenta el caudal proveniente del fotobiorreactor una vez finalizado el tiempo de cultivo, siendo el mismo de 24,63 m³/h. Además, se tuvo en cuenta que en cada bacheada se obtiene aproximadamente 1711,66 kg.

Por lo mencionado anteriormente, se elige trabajar con el equipo de marca Flottweg, el mismo posee un caudal máximo de procesamiento de 120 m³/h. Este se eligió pensando a futuro la posibilidad de tratar la totalidad de las emisiones, teniendo en cuenta que aumentaría el caudal de cultivo proveniente del fotobiorreactor. Otras ventajas que posee este equipo son hasta un 25 % menos de costos de inversión y un 60 % menos de costes operativos (energía, agua, etc.).

El equipo Sedicanter está formado por un tambor macizo, y un tornillo sinfín, ambos situados en el interior de la carcasa. El cultivo por separar se introduce hasta el fondo del equipo a través del tubo de alimentación, el tornillo sinfín gira a una velocidad diferencial relativa a la del tambor, causando el transporte de los sólidos separados. La ventaja de este equipo se basa en que la aceleración centrífuga tan alta permite una máxima compresión de los sólidos, y, una vez separados, son conducidos por el tornillo sinfín para su expulsión. Por su parte, el medio de cultivo líquido se expulsará de la máquina mediante presión.

Las especificaciones técnicas y de diseño del Sedicanter se describen a continuación:

Cuadro D.8: Especificaciones del Sedicanter

Modelo	S3E-3
Diámetro del tambor	300 mm
Velocidad del tambor	7.750 rpm
Velocidad g máxima	10.000
Velocidad diferencial	1,5 – 30 rpm
Materiales de construcción	Acero inoxidable de alta calidad
Dimensiones (l x a x a)	2.304 x 700 x 752 mm
Peso bruto	1.050 kg
Potencia del motor Accionamiento del tambor	15 kW
Potencia del motor Accionamiento del tornillo	4 kW
Capacidad	1 t/h
Diseño	Capot abisagrado, juego de toberas de enjuague para la carcasa.