

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María

Obtención de biometano a partir de FORSU para la producción de GNC

Proyecto final para obtener el grado en ingeniería química

Arancegui, Juana
Chiamba, Melania Florencia
Malasisi, Lucía de las Mercedes

Febrero, 2022

Firma de las alumnas

ARANCEGUI, Juana

Firma: _____

CHIAMBA, Melania Florencia

Firma: _____

MALASISI, Lucía de las Mercedes

Firma: _____

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María
el día

Aprobada por su contenido y estilo

Presidente del Tribunal: _____

Primer Miembro Vocal: _____

Segundo Miembro Vocal: _____

Nota Final de aprobación: _____

Agradecimientos

Queremos dedicar el presente proyecto a todas las personas que nos acompañaron y ayudaron a lo largo de la realización de la carrera. No podemos mencionar una por una, porque fueron tantas, pero si decirles gracias por estar en cada paso de este largo camino, esto no hubiera sido posible sin ninguno de ustedes.

Nuestro principal agradecimiento está dirigido hacia nuestros padres y familiares, quienes a lo largo de nuestra vida nos han acompañado, han buscado nuestro bienestar y nos han brindado educación, valores y herramientas para lograr nuestros objetivos, siendo nuestro apoyo en todo momento y demostrando su entera confianza en nosotras.

Además, agradecer a los amigos de la vida y de la universidad por acompañarnos y apoyarnos en este proceso, en especial a nosotras tres, las integrantes de este proyecto, por la constancia, las horas de trabajo y risas compartidas, como así también por el sostén mutuo que nos brindamos en los momentos más difíciles, dándonos fuerzas para lograr la meta final.

Por último, también agradecemos a nuestros docentes quienes nos aportaron sus conocimientos, como así también sus experiencias en esta hermosa etapa universitaria. A nuestra querida y prestigiosa facultad que nos brindó no solo la posibilidad de estudiar, sino también, la posibilidad de conocer buenas personas y por las oportunidades académicas que nos dio.

Hoy concluimos esta etapa de nuestras vidas y no podemos dejar de agradecer a cada uno de ustedes. ¡La felicidad y satisfacción es inmensa, gracias!

RESUMEN

En el presente proyecto, se propone un proceso viable para el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos mediante la digestión anaerobia, seguida de su purificación, la cual permite obtener dos productos, biometano y biofertilizante.

Actualmente, la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es uno de los mayores problemas ambientales del país, y tiene su origen en causas de diferentes naturalezas, tales como, el rápido crecimiento demográfico que conlleva a un aumento en la generación de residuos, la utilización de bienes materiales no degradables y causas más complejas que obedecen a una ineficiente gestión integral de los residuos. La consecuencia de estas acciones conlleva a generar un gran impacto negativo en el medio ambiente, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, contaminación de suelos, polución de acuíferos por lixiviados, ocupación descontrolada del territorio, creación de focos infecciosos y producción de malos olores. Debido a estos motivos, se propone un tratamiento integral para dichos desechos con el fin de no solo disminuir la cantidad de residuos, sino también lograr darles valor y sustituir la demanda de energía tradicional por una sustentable.

Palabras claves: FORSU, biometano, biofertilizante, digestión anaeróbica.

Contenido

1.	Objetivos y generalidades del proyecto.....	12
1.1.	Objetivos generales del proyecto.....	12
1.2.	Objetivos específicos.....	12
1.3.	Generalidades del proyecto	12
2.	Introducción al proyecto	13
2.1	Biometano (Metano)	13
2.1.1	Composición y características.....	13
2.1.2	Usos del biometano	13
2.1.3	Rendimiento de biometano	14
2.1.4	Comparación entre el BMC y el GNC	14
2.1.5	Breve reseña histórica	14
3.1.	Biofertilizante	15
1.2.1.	Regulación legal para su uso.....	16
2.3.	Materia prima.....	16
2.3.1.	Residuos Sólidos Urbanos.....	16
2.3.2.	Otras materias para la producción de biogás	18
3.	Estudio del mercado.....	20
3.1.	Definición.....	20
3.2.	Mercado	20
3.2.1.	Panorama actual en Argentina.....	20
3.2.2.	Contexto internacional.....	22
3.2.3.	Posibles soluciones.....	24
3.2.4.	Bonos verdes	26
3.2.5.	Bonos verdes en Argentina	27
3.2.6.	Biomasa	27
3.2.7.	Productos sustitutos.....	30
3.3.	Análisis FODA.....	31
3.4.	Panorama del gas en Argentina	32
3.4.1.	Evolución del precio del gas en Argentina	36
3.5.	Abono en Argentina.....	41

3.6.	Conclusiones.....	45
4.	Localización de la planta	46
4.1.	Alternativas para la ubicación de la planta	46
4.2.	Localización puntual de la planta	49
4.3.	Estación de tratamientos de RSU	50
5.	Capacidad de producción.....	53
6.	Procesos de producción y selección del proceso	56
6.1	Etapas para la obtención de biogás.....	56
6.1.1	Hidrólisis.....	56
6.1.2	Acidogénesis y acetogénesis	57
6.1.3	Metanogénesis.....	58
6.2	Tipos de procesos anaerobios para los residuos sólidos orgánicos	62
6.2.1	Procesos continuos y discontinuos	62
6.2.2	Procesos de etapa única o multietapas.....	62
6.2.3	Procesos de vía húmeda y seca	63
6.2.4	Tipo de reactor mezcla perfecta y flujo pistón.....	63
6.2.5	Temperatura de operación	64
6.3	Elección de tipo de tecnología a emplear	64
6.3.1	Esquema del proceso de producción de biogás	66
6.3.2	Almacenamiento y pre-tratamiento del sustrato	66
6.3.3	Biodigestión.....	66
6.3.4	Proceso de purificación del biogás.....	68
6.3.5	Tratamiento del digestato y posibles usos.....	78
	Conclusiones del Capítulo 6	80
7.	Balances de masa y energía	82
7.1.	Diagrama de flujo representativo del balance de masa.....	82
7.2.	Referencias.....	84
7.3.	Balance de masa.....	85
7.4.1.	Recepción de la FORSU.....	86
7.4.2.	Separación de cuerpos extraños	86
7.4.3.	Reacción Anaeróbica	90
7.4.4.	Lodos (Digestato)	93
7.4.5.	Sistema de Nitrificación.....	99

7.4.6.	Acondicionamiento del Biogás	105
7.4.	Balance de Energía	120
7.4.1.	Mezcladores	120
7.4.2.	Intercambiadores de calor	122
8.	Diseño y adopción de equipos	126
8.1.	Referencias.....	128
8.2.	Adopción y diseño de equipos	129
8.2.1.	Adopción de zaranda vibratoria- S-01.....	129
8.2.2.	Separador Magnético S-02.....	130
8.2.4.	Molino de Martillos M-01	131
8.2.5.	Adopción de mezclador sólido – líquido ME-01.....	132
8.2.6.	Diseño de reactor anaerobio – R-01	133
8.2.7.	Adopción de Gasómetro T-01	136
8.2.8.	Cálculo y adopción de intercambiadores de calor	137
8.2.9.	Adopción de Biofiltro FIL-01.....	140
8.2.10.	Adopción de mezclador ME-02	141
8.2.11.	Diseño de Reactor Aeróbico- R-03	143
8.2.12.	Adopción de un Sedimentador-S-04	145
8.2.13.	Cálculo y adopción de compresor K-01.....	148
8.2.14.	Adopción de Trampa de Vapor TV-01	150
8.2.15.	Adopción de sistema PSA para biometano C-01	151
8.2.16.	Separador helicoidal- S-03	154
8.3.	Adopción de tanques	155
8.3.1.	Tanque de CaCO ₃ - T-05	155
8.3.2.	Tanque de CaNO ₃ - T-06	156
8.3.3.	Tanque de NaOH	157
8.4.	Calculo y adopción de bombas.....	158
8.4.1.	Adopción de Bomba P-01	160
8.4.2.	Adopción bomba P-02.....	161
8.4.3.	Adopción de bomba P-03	162
8.4.4.	Adopción de bomba P-04	163
8.4.5.	Adopción de bomba P-05	164
8.4.6.	Adopción de bomba P-06	165

8.4.7.	Adopción de bomba P-07	166
8.4.8.	Adopción de bomba P-08	167
8.4.9.	Adopción de bomba P-09	168
8.4.10.	Adopción de bomba P-14	169
8.4.11.	Adopción de bomba P-22	170
8.5.	Adopción de equipos para transporte de sólidos	171
8.5.1.	Cintas transportadoras.....	171
8.5.2.	Adopción de tornillos helicoidales	176
	Adopción de pala mecánica de carga PM-01	179
8.6.	Diseño de tolvas y silos de almacenamiento	180
8.6.1.	Almacenamiento SL-01.....	180
8.6.2.	Almacenamiento SL-02.....	181
9.	Servicios Auxiliares	182
9.1.	Referencias.....	182
9.2.	Agua.....	182
9.2.1	Cálculo y adopción de Torre de Enfriamiento.....	183
9.2.2	Adopción de tanque de almacenamiento para el agua	185
9.2.3	Cálculo y adopción de bombas.....	187
9.3.	Calor	195
10.	Tratamiento de efluentes.....	197
10.1.	Referencias.....	197
10.2.	Tipos de efluentes	197
10.2.1.	Metales, vidrios plásticos	197
10.2.2.	Purga de FIL-01.....	197
10.2.3.	Digestato Líquido.....	199
10.2.4.	Purga de R-03	200
10.3.	Traslado de efluentes	201
11.	Control de Calidad	205
11.1.	Control de las materias primas	206
13.1.	FORSU.....	206
13.2.	Hidróxido de sodio	207
13.3.	Carbonato de calcio.....	208
13.4.	Agua de Pozo.....	209

11.2.	Control de los productos.....	210
11.2.1.	Biometano	210
11.3.	Control del proceso de producción.....	212
11.3.1.	Plan de control de proceso.....	212
11.4.	Métodos Analíticos.....	214
11.4.1.	Análisis de FORSU.....	214
11.4.2.	Análisis en agua de pozo	216
11.4.3.	Análisis de producto final- Biometano	227
11.4.4.	Análisis en proceso	229
12.	Obras Civiles	231
12.1.	Introducción	231
12.2.	Descripción general del establecimiento	231
12.2.1.	Sector 1: Estacionamiento.....	232
12.2.2.	Sector 2: Garita de seguridad	233
12.2.3.	Sector 3: Hall de acceso y recepción	233
12.2.4.	Sector 4: Oficinas administrativas	233
12.2.5.	Sector 5: Sala de reuniones	233
12.2.6.	Sector 6: baños y vestuarios.....	233
12.2.7.	Sector 7: Comedor y cocina.....	234
12.2.8.	Sector 8: Laboratorio.....	235
12.2.9.	Sector 9: Oficina de panel de control	235
12.2.10.	Sector 10: Área de producción	235
12.2.11.	Sector 11: Taller de mantenimiento.....	235
12.2.12.	Sector 12: Depósito	236
12.2.13.	Sector 13: Zona de circulación	236
13.	Seguridad Industrial	238
13.1.	Introducción	238
13.2.	Marco legal.....	238
13.3.	Política de higiene y seguridad	238
13.4.	Gestión de higiene y seguridad	239
13.4.1.	Estructura del departamento de higiene y seguridad.....	239
13.4.2.	Responsabilidades del técnico de higiene y seguridad	239
13.5.	Seguridad en el diseño	240

13.5.1.	Proceso	240
13.5.2.	Diseño de equipo.....	240
13.5.3.	Obras civiles y estructurales.....	240
13.5.4.	Electricidad	241
13.5.5.	Protección contra incendios.....	241
13.6.	Seguridad en la construcción de la planta	241
13.7.	Seguridad en la puesta en marcha	242
13.8.	Seguridad en la operación.....	242
13.9.	Seguridad en el mantenimiento	242
13.10.	Seguridad en prevención, defensa y actuación.....	243
13.10.1.	Orden y limpieza	243
13.10.2.	Señalización.....	243
13.10.3.	Protección colectiva.	249
13.10.4.	Protección individual.....	250
13.10.5.	Parada de planta	258
13.10.6.	Procedimiento de extinción	258
13.10.7.	Plan de emergencia y evacuación	258
13.10.8.	Sistema de alarma.	259
13.11.	Seguridad medioambiental	260
13.11.1.	Política medioambiental.	260
13.11.2.	Residuos sólidos.	260
13.11.3.	Efluentes líquidos.	261
14.	Organización Industrial	262
14.1.	Introducción	262
14.2.	Municipalidad de Justiniano Posse	262
14.3.	Organización de la empresa	262
14.3.1.	Organización interna	263
14.3.2.	Descripción de los puestos de trabajo	263
15	Instalaciones eléctricas	270
15.1.	Introducción	270
15.1.1.	Descripción general	270
16.	Control automático de procesos.....	280
16.1.	Introducción	280

16.2.	Control automático	280
16.2.1.	Control del filtro biológico FIL-01.....	280
16.2.2.	Hojas de especificación de instrumentos.....	284
17.	Estudio económico financiero.....	294
17.1.	Introducción	294
17.2.	Inversión.....	294
17.3.1.	Activos fijos	295
17.3.2.	Activos nominales	299
17.3.3.	Capital de trabajo	300
17.3.4.	Inversión necesaria.....	300
17.3	Costos totales de producción.....	300
17.3.1.	Costos directos de producción	301
17.3.2.	Costos indirectos de producción.....	303
17.3.3.	Costos fijos indirectos	304
17.4.	Ingreso por venta	304
17.5.	Financiación del proyecto	305
17.6.	Evaluación económica.....	306
17.6.1.	Estado de resultados	306
17.6.2.	Indicadores.....	308
17.6.3.	Análisis de sensibilidad.....	310
17.7.	Conclusión del estudio económico financiero	314
18.	Conclusión	315
19.	Bibliografía	316
20.	ANEXOS	321
	ANEXO 1: Cálculo de capacidad de la planta.....	321
	ANEXO 2: Cálculo de proporción de metano y dióxido de carbono mediante la ecuación de Buswell	322
	ANEXO 3: reacción aerobia- nitrificación	325
	ANEXO 4: Diseño de equipos.....	330
	R-01: Reactor anaeróbico.....	330
	F-02: Biofiltro.....	332
	R-03- Reactor aerobio	335
	F-01: Separador helicoidal.....	338



Adopción de tanques	340
ANEXO 5: Planimetría.....	341

1. Objetivos y generalidades del proyecto

1.1. Objetivos generales del proyecto

- Demostrar la viabilidad de la valorización de residuos sólidos urbanos orgánicos.
- Aplicar e integrar los conocimientos, habilidades y capacidades adquiridos durante la carrera.
- Contribuir a mitigar el cambio climático.

1.2. Objetivos específicos

- Demostrar la factibilidad de la producción de biometano a partir de residuos sólidos urbanos orgánicos.
- Analizar la capacidad energética del biometano generado, a fin de conseguir un producto que resulte beneficioso para la comercialización del mismo.
- Examinar la composición física, química y microbiológica del subproducto sólido para su correspondiente aplicación.
- Demostrar la viabilidad económica del proyecto, mediante un estudio detallado sobre costos actuales y futuras proyecciones.
- Diseñar los equipos y la instalación necesaria para la obtención del biometano.

1.3. Generalidades del proyecto

En el presente proyecto, se propone un proceso viable para el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos mediante la digestión anaerobia, seguida de su purificación, la cual permite obtener dos productos, biometano y biofertilizante.

Actualmente, la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es uno de los mayores problemas ambientales del país, y tiene su origen en causas de diferentes naturalezas, tales como, el rápido crecimiento demográfico que conlleva a un aumento en la generación de residuos, la utilización de bienes materiales no degradables y causas más complejas que obedecen a una ineficiente gestión integral de los residuos. La consecuencia de estas acciones conlleva a generar un gran impacto negativo en el medio ambiente, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, contaminación de suelos, polución de acuíferos por lixiviados, ocupación descontrolada del territorio, creación de focos infecciosos y producción de malos olores. Debido a estos motivos, se propone un tratamiento integral para dichos desechos con el fin de no solo disminuir la cantidad de residuos, sino también lograr darles valor y sustituir la demanda de energía tradicional por una sustentable.

2. Introducción al proyecto

2.1 Biometano (Metano)

2.1.1 Composición y características

El biometano, biogás purificado con al menos 95% de metano, es un combustible de origen biológico generado por medio de un proceso de digestión anaerobia en la cual se lleva a cabo de manera simultánea una innumerable serie de reacciones bioquímicas donde intervienen más de 130 especies de bacterias. El mismo está conformado por diversos componentes, dentro de ellos se encuentra en forma mayoritaria el metano, cuyo porcentaje en el gas resultante depende del contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos, de la materia orgánica a degradar. En la Tabla 1 se resumen las características principales del biogás crudo obtenido a partir de la FORSU (fracción orgánica de residuos sólidos urbanos) y del biogás purificado. Entre ellas se encuentra el Índice de Wobbe, el cuales un parámetro importante cuando se quiere mezclar gases combustibles y aire (en una reacción de combustión), se controla este índice para asegurar la combustión satisfactoria en un quemador. El concepto de este índice es el de caudal calorífico (cantidad de calorías que se liberan en una unidad de tiempo) que pasa por el orificio de un quemador.

Tabla 1. Propiedades del biogás antes y después de su depuración para inyección a la red.

Parámetros analíticos	Unidad	Biogás crudo	Biogás depurado
CH ₄	%	46-65	98
CO ₂	%	34-55	≤2
H ₂ O	g/m ³	>13,50	0,05
H ₂ S	mg/m ³	0,10-5,00	≤0,01
Temperatura	°C	36	4
Temperatura critica	°C	650-750	
Presión critica	Atm	74-88	
Temperatura de ignición	°C	-82,5	
Solubilidad en agua		Baja	
Poder calorífico	kWh/m ³	6,62	10,80
Densidad	Kg/m ³	1170	720
Índice de Wobbe	kWh/m ³	6,92	14,40

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Usos del biometano

Las posibilidades de uso del biometano son abundantes y variadas. Las plantas de biometano son de particular importancia, actuando como proveedores de producción de energía neutral para el ambiente. Dentro de los usos se encuentran:

- Incorporación a la red de gas natural.
- Incorporación en una red de gas local de una comunidad aislada, denominado gasoducto virtual¹.

¹ Gasoducto virtual: tecnología por la cual, en lugares alejados de la red donde la conexión resulta por cualquier causa



antieconómica, el gas natural es comprimido o licuefaccionado a los efectos de ser transportado por carretera (cilindros o tanques cargados sobre camiones) y regasificado en destino.

- Aplicaciones al transporte en reemplazo del GNC.
- Empleo como reemplazo del GNL.
- Otras aplicaciones que resultan de combinar biometano con combustibles convencionales.

2.1.3 Rendimiento de biometano

Mediante 1 m³ de biometano se puede:

- Mantener una estufa prendida a fuego medio por 2 h.
- Mantener un quemador encendido por 6 h.
- Recorrer en auto de motor mediano 14 km mediante el uso de bioGNC.

2.1.4 Comparación entre el BMC y el GNC

En los últimos años se ha avanzado en la investigación y el desarrollo de energías alternativas para responder a una problemática que atenta contra la escasez de energía a futuro, y el biometano resulta claramente una buena opción a ello.

El biometano, biogás sometido a un proceso de valorización, tiene principalmente tres aplicaciones finales: puede emplearse directamente para la generación energética, como combustible para vehículos (gas natural comprimido -GNC), o bien puede suministrarse a la red de gas como un sustituto del gas natural (SGN).

Si se centra en el uso destinado a combustible para vehículos, el mismo se puede encontrar en forma de GNC o GNL. Normalmente los vehículos ligeros se diseñan para funcionar con gasolinas y con GNC (en tanques separados), mientras que los vehículos pesados son diseñados para un solo tipo de combustible, diésel o GNC. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. Cuando se emplea gas natural en lugar de diésel se consiguen reducciones en las emisiones de un 60-85% para los NO_x, de un 10-70% para CO, y de un 60-80% para partículas.

La principal diferencia se centra en el octanaje, el gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, en comparación con el GNC de origen fósil, que su octanaje es 120, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja del BMC (biometano comprimido) es su baja velocidad de encendido. (INTA , 2011)

Sin embargo, el biometano comprimido al ser de origen biológico es considerado como un recurso renovable, lo que supone una ventaja contra el gas natural comprimido de origen fósil, limitado para el futuro.

El uso del biometano es además una alternativa excelente para el medio ambiente, ya que de otro modo el material orgánico biodegradable quemado, se procesa para dar lugar a esta nueva energía, minimizando el impacto ambiental.

2.1.5 Breve reseña histórica

Alrededor del año 1600, varios científicos identificaron un gas que provenía de la descomposición de la materia orgánica. Con el correr de los años, ya en el 1890, en la India, se construyó el primer biodigestor donde se produjo biogás, luego 6 años más tarde, las lámparas del alumbrado público en

Exeter, Inglaterra, eran alimentadas por el gas que se recogía de los digestores que fermentaban los lodos de las cloacas de la ciudad.

Durante las décadas de los años 20 y 30 del siglo XX, se realizaron numerosas experiencias tanto a nivel de laboratorio como de plantas piloto.

En muchos casos ya se utilizaban los lodos de aguas residuales como alimento de los digestores. Posteriormente, al finalizar las dos guerras mundiales, en Europa comenzaron a extenderse las llamadas fábricas productoras de biogás, con el fin de emplearlo en los automóviles de la época. Los tanques Imhoff son conocidos como aquellos capaces de tratar las aguas de las cloacas y fermentar la materia orgánica para producir biogás. El gas que se generaba se empleaba para el propio funcionamiento de las plantas, para los vehículos municipales y en algunas ciudades se llegó a inyectar en la red de gas. Años más tarde, en la década del 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir del estiércol bovino en la India, con el doble objetivo del aprovechamiento energético y el aprovechamiento del digerido dada sus propiedades fertilizantes.

La difusión del biogás se vio dificultada por el fácil acceso y el rendimiento que tenían los combustibles fósiles, sin embargo, en los países industrializados, el desarrollo de la metanización ha estado más influenciado por criterios medioambientales que los puramente energéticos, siendo el método clásico de estabilización de las aguas residuales urbanas.

Tras la crisis energética de los años 70, se impulsa la construcción de digestores, pero su desarrollo se frena por la escasa producción de metano y el elevado coste de las instalaciones a finales de los 80, agravando el problema la caída de los precios del petróleo.

A finales del siglo XX, se construyó la primera planta centralizada de biogás en Dinamarca, con el objetivo de demostrar el potencial de las grandes plantas productoras de energía eléctrica. En Alemania, gracias al cambio en su legislación eléctrica, se produjo una oleada de construcción de digestores, que todavía se mantiene por el pago por kWh producido.

En los últimos 20 años, el desarrollo del biogás ha tenido muchos avances importantes debido a los descubrimientos sobre el proceso microbiológico y bioquímico que actúa en él y a la investigación del comportamiento de los microorganismos que intervienen en las condiciones anaeróbicas.

3.1. Biofertilizante

El contenido de humedad del digerido depende del tipo de biodigestión anaeróbica (seca, semiseca o húmeda) empleado, mientras que la calidad y la cantidad de los nutrientes está directamente relacionada con el tipo de sustratos usados para alimentar el biodigestor. Cuando los digeridos tienen destino agronómico, es importante garantizar que en el proceso anaeróbico no se emplee agua o sustratos con concentraciones de metales pesados u otros tóxicos, que permanecen en el producto final de la digestión. (Guía teórica- práctica sobre el Biogás y Biodigestores, 2019)

En un reactor anaeróbico los microorganismos degradan la materia orgánica, lo que produce biogás y al mismo tiempo libera nutrientes y metabolitos al medio. Los biodigestores mesofílicos y termofílicos logran reducir en más de un 50% el contenido de materia seca de la mezcla utilizada para la alimentación, de lo que resulta un digerido con una materia orgánica microbiológicamente más estable que los materiales originales. Además, la acción de los microorganismos modifica la proporción de nitrógeno inorgánico disponible ($N-NH_4^+$) en relación con el nitrógeno total (orgánico e inorgánico), lo que permite una asimilación rápida por parte de los cultivos y/o su transformación en nitratos en el suelo. La porción asimilable del fósforo (P) no se ve significativamente afectada por el proceso, que

preserva además micronutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos. (Guía teórica- práctica sobre el Biogás y Biodigestores, 2019)

1.2.1. Regulación legal para su uso

El digestato se encuentra regulado por la Resolución Conjunta 1/2019, anexo 1 “Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost”. Esta resolución presenta dos tipos de compost según los parámetros de calidad listados en Tabla 2 , donde el de Clase A no presenta restricciones de uso y aplicación, mientras que el de Clase 2 si las posee. Por otro lado, todas las clases de compost deben contener la cantidad de materias inertes permitida según se indica en la Tabla 3.

El contenido de patógenos en el digerido es otro de los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de utilizarlo agronómicamente, el cual se encuentra detallado en la Tabla 4.

Tabla 2. Parámetros de calidad

Parámetro	Unidad	Compost Clase A	Compost Clase B
pH		5,00-8,50	
Olores		No debe ser desagradable	
Humedad	%	<60	
Conductividad eléctrica	dS/m	<4	<6
Relación C/N	%	≤20	≤30
Materia Orgánica	%	≥20	
Elementos potencialmente tóxicos			
Cadmio	mg/ kg MS	1,50	3
Cobre	mg/ kg MS	150	450
Níquel	mg/ kg MS	30	120
Plomo	mg/ kg MS	100	150
Zinc	mg/ kg MS	300	1100
Mercurio	mg/ kg MS	0,70	5
Cromo	mg/ kg MS	100	270

Fuente: (Marco Normativo para la Producción, Registro y Producción, 2018)

Tabla 3. Cantidad de materias inertes permitidas en Compost

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% MS)
Plásticos flexibles y/o películas	>4	≤5
Piedras y/o terrones de tierra	>4	≤5
Vidrios y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	≥2	≤0,5

Fuente: (Marco Normativo para la Producción, Registro y Producción, 2018)

Tabla 4. Nivel de patógenos

Parámetro	Unidad	Valor
Salmonella spp.	nmp/4 g MS	<1
Coliformes fecales	nmp/g	<1000
Huevo viable de Ascaris	Unidad/4 g	<1

Fuente: (Marco Normativo para la Producción, Registro y Producción, 2018)

2.3. Materia prima

2.3.1. Residuos Sólidos Urbanos

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se componen de objetos de uso cotidiano que son utilizados y luego desechados, tales como, envases y empaques de diversos materiales para el almacenamiento de productos, residuos forestales, corte de césped, muebles, ropa, restos de comida, periódicos,

electrodomésticos, pintura y baterías, residuos sanitarios y de calles, embalajes, entre otros; provenientes principalmente de tres fuentes:

- Residuos sólidos domésticos, procedentes de hogares y espacios públicos.
- Residuos comerciales sólidos, provenientes de tiendas, restaurantes, hoteles, oficinas, etc.
- Residuos sólidos industriales, que se genera por todas las industrias, pero no incluye los residuos de construcción y demolición, residuos químicos o residuos especiales.

Se entiende por fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) a la parte de los RSU constituida por residuos de origen orgánico, como restos de alimentos y cocina, estiércol, poda de árboles, barrido de calles, ramas, paja y plantas. Estos elementos putrescibles, constituyen la parte más peligrosa de los RSU ya que originan malos olores como resultado de la fermentación y son un campo de atracción para los vectores. (Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba, 2018)

La FORSU puede considerarse compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza; si se someten estos materiales orgánicos a descomposición aeróbica, el producto final que queda después de cesar casi toda actividad microbiológica es un material comúnmente conocido como compost, mientras que, si se somete a condiciones anaeróbicas, se producirá biogás y un residuo estabilizado que sirve como enmienda para suelos degradados. En la *Tabla 5* se detallan, en términos generales, los componentes fisicoquímicos de la FORSU. (Perdigón, Viabilidad técnica para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos- FORSU, 2014).

Tabla 5. Posible composición y caracterización físico-química iniciales del residuo sólido urbano

Características	Unidad	
Sólidos totales (ST)	%	30
Humedad	%	70
Sólidos volátiles (SV/ST)	%	95
Carbono (C)	%	48,30
Hidrógeno (H)	%	7,60
Oxígeno (O)	%	35,80
Nitrógeno (N)	%	3,30
Cenizas	%	5
Ph		7,62
C/N	%	14,64
Densidad	Kg/m ³	750
Poder Calorífico	kWh/kg	2,74

Fuente: Elaboración propia

Por todos estos motivos, la valorización de la FORSU puede contribuir a atenuar muchos de los problemas asociados a su acumulación y lograr obtener subproductos útiles como compost, biogás y biosólidos; teniendo así impactos positivos tanto en el medio ambiente como en la economía. Uno de los parámetros más importantes a la hora de analizar la degradación de la materia orgánica de la FORSU es la cantidad de sólidos volátiles, que son los que realmente se descomponen en la reacción. El valor debe ser alto para que la producción de biogás sea rentable.

Por otro lado, como se puede apreciar en la *Tabla 6*, la cantidad y el porcentaje en metano que se puede obtener de un residuo depende de su contenido en proteínas, carbohidratos y lípidos.

Tabla 6. Cantidad y porcentaje de metano obtenido de cada compuesto orgánico.

Compuesto orgánico	Cantidad de metano (m ³ / t SV)	Porcentaje de metano (%)
Proteínas	600-700	70-75
Lípidos	1000-1250	68-73
Carbohidratos	700-800	50-55

Fuente: (Cuesta López, 2015)

2.3.2. Otras materias para la producción de biogás

Para la generación de un biocombustible es necesario material orgánico biodegradable. En la actualidad existen muchos sustratos disponibles para tal fin, pero el rendimiento de cada uno de ellos está influenciado en gran parte por su contenido neto en materia orgánica y los procesos a los que haya sido sometido. Los sustratos con altos contenidos de celulosa son los indicados para la producción de biogás por medio de la digestión anaeróbica. En general, los residuos más utilizados se resumen a continuación: (Tobares, La importancia y el futuro del biogás en la Argentina, 2013)

- *Residuos ganaderos y de granjas:* purines de cerdo y vaca, estiércoles² y gallinaza³. En general, su potencial para la producción del biogás no es demasiado alta, debido a su alto contenido en nitrógeno y a su excesiva humedad para el proceso. No obstante, por causa de su poder contaminante de suelos y por la abundancia de recurso, sumado a la ausencia de tratamientos eficientes de valorización, los residuos ganaderos constituyen el combustible por excelencia para la generación de biogás mediante digestión anaerobia.
- *Residuos agrícolas:* los restos agrícolas procedentes de cultivos de consumo, cultivos energéticos o de generación de materias primas para la industria alimentaria constituyen un sustrato apropiado, en general, para la digestión anaerobia. No obstante, la tipología del material usado, en función de la carga orgánica que posea, genera una gran variabilidad en el potencial de biogás existente en el residuo. Además, presenta la problemática de estar sometido a la estacionalidad del recurso (en general).
- *Residuos de la industria alimentaria:* el procesado de las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios genera abundantes residuos susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético. No obstante, en función del tipo de residuo, puede ser necesario un pretratamiento previo para maximizar el potencial de generación de biogás.
- *Residuos de matadero:* constituyen uno de los residuos con mayor potencial para la generación de biogás. Los restos de contenidos estomacales, intestinos, etc., así como los restos de depuración de los efluentes de este tipo de residuos, suponen un sustrato muy adecuado para la biometanización, aunque generalmente, este aprovechamiento se realiza en codigestión con otros residuos.

² La única diferencia entre purín y estiércol es que en el primero está diluido con aguas pluviales y de limpieza de las instalaciones ganaderas mientras que el segundo se maneja como sólido.

³ Se llama gallinaza al excremento o estiércol de las gallinas o de los pollos.

- *Residuos pesqueros*: los restos de pesca y de procesamiento de productos alimentarios de la industria conservera y similar resultan ser un muy buen sustrato para la digestión anaerobia.
- *Lodos de Depuradora*: Los tratamientos de depuración de aguas residuales generan lodos de difícil tratamiento, muy apropiados para la generación de biogás. De hecho, existen numerosas EDARs (estación depuradora de aguas residuales) que se autoabastecen con el aprovechamiento térmico del biogás generado.
- *Residuos de plantas de biocombustibles*: en este tipo de plantas, particularmente en las de biodiésel se generan grandes cantidades de glicerina, que es uno de los residuos con mayor potencial de generación de biogás. No obstante, existen otras formas de aprovechamiento de la glicerina, lo que supone que, a día de hoy, la misma procedente de las plantas de biodiésel sea un residuo dependiente de la producción real de las plantas y, por otro lado, de la utilización del subproducto en otros aprovechamientos independientes de la producción de biogás mediante digestión anaerobia.

A continuación, en la Figura 1 se indica el potencial de diversos tipos de residuo agroindustriales para la producción de biogás mediante digestión anaerobia. En el mismo se puede apreciar que la potencialidad para la generación del biogás aumenta a medida que aumenta el porcentaje de grasas en el residuo.

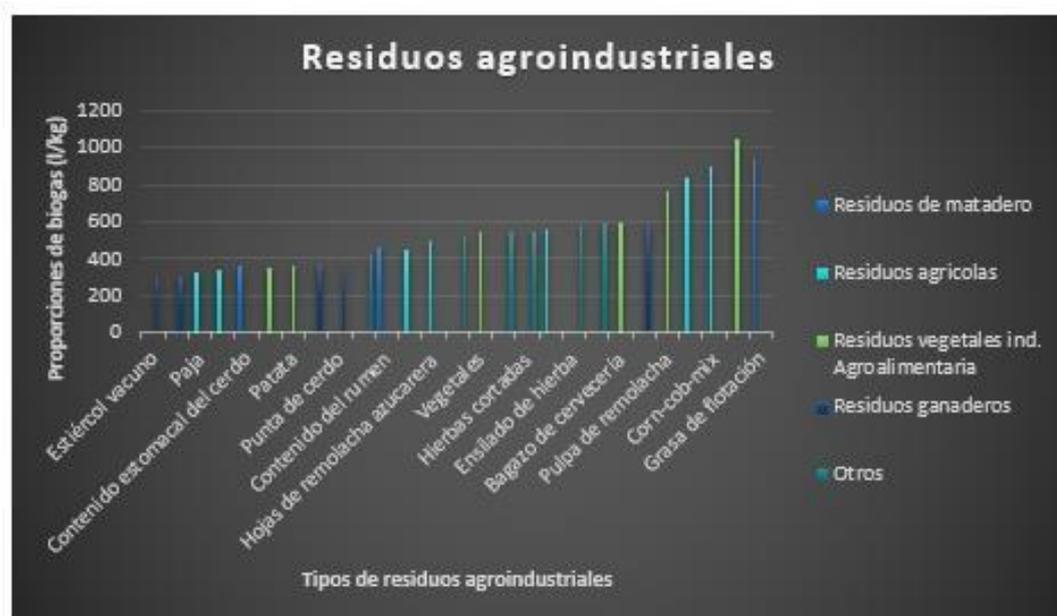


Figura 1. Rangos de producción potencial de biogás en función del residuo agroindustrial utilizado.
Fuente: (AINIA, 2017)

3. Estudio del mercado

3.1. Definición

El estudio de mercado es definido como un conjunto de acciones que se ejecutan con la finalidad de dar a conocer la respuesta del mercado (clientes, proveedores, competencias) ante un nuevo producto o servicio. El mismo consiste en una iniciativa empresarial con el objetivo de ofrecer una idea sobre la viabilidad comercial de una actividad económica.

En definitiva, a través de un estudio de mercado, se van a analizar 5 puntos importantes que no debemos pasar por alto:

- Estudio del producto o servicio.
- Análisis de la oferta.
- Análisis de la demanda.
- Análisis de los precios.
- Análisis de los canales de distribución y comercialización.

Para efectuar el análisis particular de un proyecto, y no de un producto, se tienen en cuenta los mismos puntos, pero con un enfoque algo diferente.

3.2. Mercado

3.2.1. Panorama actual en Argentina

En la actualidad, la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es uno de los mayores problemas ambientales del país, y tiene su origen en causas de diferentes naturalezas. Si bien existe la *Ley 25.916, "GESTIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS"*, la cual establece presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios, generación y disposición inicial, recolección y transporte, tratamiento, transferencia y disposición final, infracciones y sanciones, entre otras; la misma no resulta totalmente eficiente. (Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina, 2004)

A objeto de darle valor a estos desechos y contribuir al alcance de la ley, como ya se ha mencionado anteriormente, es posible aprovechar el material orgánico desechado para generar energía. Pese a que existe un mercado mayormente satisfecho en términos de abastecimiento energético, dicha energía es de origen fósil, no renovable y contaminante, por lo que el autoabastecimiento con una alternativa renovable, permite ahorrar dinero, como así también, disminuir el volumen de desechos producidos y al mismo tiempo reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Además, esto resulta beneficioso debido a otros factores, como la existencia de varios sectores en el país que en determinadas épocas del año acusan escasez de gas natural, como así también de gasoductos troncales, lo que se traduce en un complicado día a día para domicilios particulares, pero, sobre todo, para empresas, que se ven obligadas a retrasar y/o frenar su producción. Debido a esto podría ser económicamente competitiva la utilización del biometano, como bioGNC o bioGNL producido localmente para el transporte (mediante estaciones de servicio cercanas a la planta) y el abastecimiento por redes o gasoducto virtual (a poblaciones cercanas a las plantas y alejadas de los gasoductos troncales, que usan GLP).

Otro problema actual que se presenta en Argentina es el tema irresoluto de la inflación. Esto se ve plasmado en subas en el costo de los servicios, cortes de los mismos, disminución de la producción, ya

que algunas empresas deciden producir menos a expensas de menores costos y así lograr permanecer en el mercado, aumentos en las tasas de interés, despidos masivos, cierres de empresas, entre otros. En efecto, en este contexto macroeconómico, es difícil anticipar la posibilidad de que el Gobierno nacional otorgue subsidios económicos explícitos para fomentar la producción de biometano, como es realizado en otros países.

A esto se le suma el calentamiento global, como así también, el uso indiscriminado del petróleo y la creciente contaminación ambiental, por lo que surge la necesidad de impulsar energías renovables. Esto ya ha sido evaluado y analizado por varios países, los cuales actualmente se encuentran implementándolo en su uso cotidiano.

Con respecto a la producción de biogás en Argentina, de acuerdo al relevamiento Nacional de biodigestores realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en el año 2015, se identificó la existencia de 105 plantas de biogás. Las mismas fueron clasificadas, según su escala, en grandes (más de 1 000 m³), medianas (entre 100 y 1000 m³) y pequeñas (menos de 100 m³), en donde más del 40% de las plantas relevadas calificó como grande. En el sector privado, el 65% de las plantas se catalogaron como grandes, mientras que, en el sector público, sólo el 20%. En este último, las plantas de biogás se utilizan principalmente para el tratamiento de residuos (tratamiento de efluentes cloacales y valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, RSU).

Es importante mencionar que, desde el punto de vista de los recursos para la producción de biogás, Argentina, particularmente las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, tiene mejores condiciones que los países europeos estudiados. Dentro de la provincia de Córdoba actualmente se destacan las plantas de Huinca Bio (Huinca Renanco), Biogás Agribio (Hunquillo), entre otras.

Actualmente, las normas que rigen la producción de energías renovables son: (Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina., 2006)

- Ley Nacional 26.093: Régimen de promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles. (2006).
- Ley Nacional 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica (2015).
- Plan Renovar Nacional: Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (2016).
- Ley Nacional 27.424: Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública (2017).
- Ley de la Provincia de Córdoba 10.721: Ley de Promoción y Desarrollo para la Producción y Consumo de Biocombustibles y Bioenergía (2020).

La ley 26.093 constituye la piedra basal del marco regulatorio de los biocombustibles de la República Argentina, resultando aplicable a las actividades de producción, mezcla, distribución, comercialización, consumo, y autoconsumo de biocombustibles. Su ámbito de aplicación comprende al bioetanol y al biodiesel, producidos a partir de materias primas de origen agropecuario o agroindustrial y al biogás generado a partir de desechos orgánicos. Al acceder a este plan se goza de beneficios impositivos tales como:

- a) Impuesto al Valor Agregado e Impuesto a las Ganancias: Los beneficiarios del Régimen de Promoción podrán obtener la devolución anticipada del IVA.
- b) Ganancia Mínima Presunta: Los bienes afectados a los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.

La provincia de Córdoba se adhiere a esta ley a partir de la sanción de la ley 9.397.

La Ley Provincial 10.721 reglamenta que los pliegos de contrataciones de bienes, servicios y obra pública deberán incluir cláusulas de preferencia a las ofertas que incluyan la provisión de bienes reciclables o biomateriales y/o el uso de biocombustibles en los vehículos que integran su flota o de sus eventuales subcontratistas. Desde su vigencia, la Provincia formalizó la relevancia de los biocombustibles, la bioenergía, los biomateriales y bienes reciclables en el cuidado y protección del medio ambiente y el rol esencial que cumplen en el marco de la transición energética, el otorgamiento de beneficios en términos de ponderación y puntuación a las ofertas de proponentes que utilicen o provean esos tipos de combustibles y bienes. Además, ENARGAS debe incentivar y fomentar también la producción y uso del biogás en todas sus formas y composiciones como biocombustible, apoyando su uso en todos los sectores ya mencionados, utilizando para ello la extensa red de infraestructura gasífera provincial y todo otro sistema de distribución que se adapte y sea conveniente para su desarrollo. (Legislatura de la Provincia de Córdoba, 2020)

3.2.2. Contexto internacional

En Europa, actualmente el número de plantas de biogás para generación de energía eléctrica es mucho mayor que para la producción de biometano, sin embargo, se observa un crecimiento mucho mayor de estas últimas en años recientes. En 2015, mientras que la cantidad de plantas de biogás creció sólo 3%, la de plantas de biometano lo hizo a una tasa de 25%.

El biometano es un combustible comercialmente viable, con la condición de contar con algunas ventajas impositivas o que se le garanticen otros incentivos fiscales. La producción de biometano puede comercializarse mediante las infraestructuras existentes para el GN; la tecnología para su depuración está madura y ha sido probada.

Como se observa en la Figura 1, Alemania es el país con mayor cantidad de plantas totales de biometano, le sigue Reino Unido y demás. Por otro lado, países como Suecia utiliza la mayor parte de biometano producido para la propulsión de vehículos, el 17% de su flota de autobuses ya se alimenta de este combustible. Otros países que se suman a esto son, Dinamarca, Noruega, Holanda y algunas ciudades de Francia y Reino Unido, como Lille y Bristol, respectivamente.

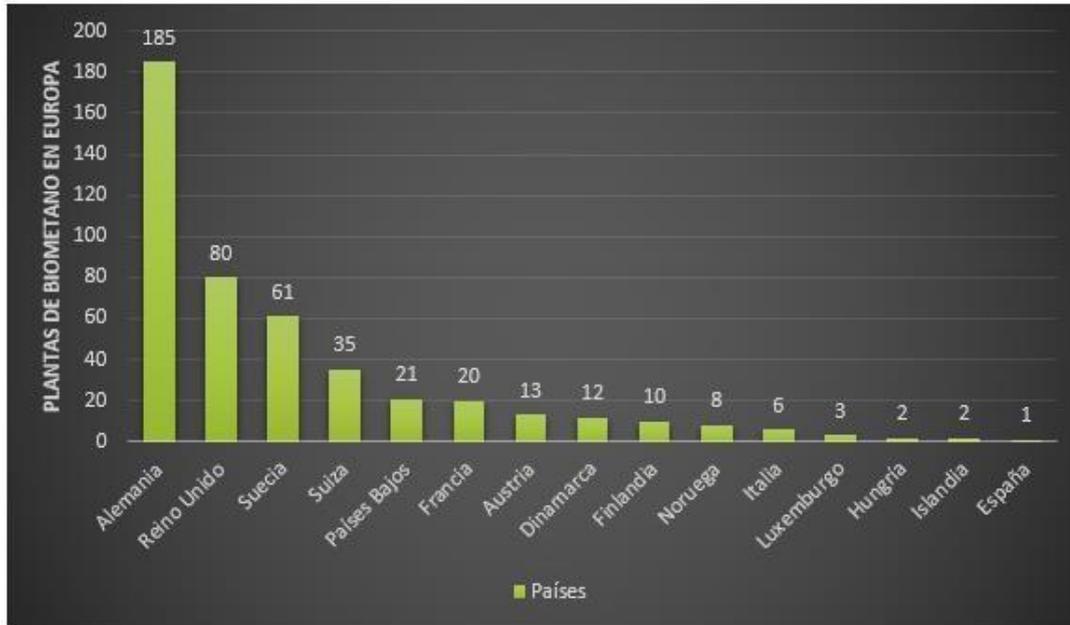


Figura 1: Plantas de biometano en Europa
Fuente: (EBA, 2016)

Sin embargo, aun en los países europeos, los costos de producción y distribución de biometano no resultan competitivos respecto del GN de origen fósil. Por ello, los países líderes en la inserción del gas verde han aplicado sistemas de cuotas, certificados verdes, feed-in-tariffs, exención de impuestos, u otros mecanismos de apoyo económico, así como políticas gubernamentales para superar las barreras y explotar sus beneficios. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

En la siguiente tabla se detallan los principales instrumentos aplicados en los países analizados para incentivar el uso del biogás y del biometano.

Tabla 7: Principales instrumentos aplicados en los países analizados para incentivar el uso del biogás y del biometano.

Usos del biometano	Alemania	Suecia	Dinamarca	Colombia	Brasil	Argentina
Incorporación a la red de GN	Acceso prioritario a la red. Costos de conexión y acondicionamiento compartido con el operador de red. Mayor flexibilidad en desbalances.	La red de gasoductos no es significativa. Subsidio a la producción de biogás especialmente con sustrato tipo estiércol.	Acceso prioritario a la red. Subsidio a la producción de biogás para la red.	Acceso irrestricto a la red nacional de transporte.	Cuota obligatoria de gas verde para distribuidores en San Pablo.	Sin antecedentes
Incorporación a una red de gas local de una comunidad aislada.	Sin reglas específicas.	Sin reglas específicas.	Sin reglas específicas.	Calidad diferenciada. Permite integración vertical.	Sin reglas específicas.	Antecedentes de calidad diferenciada en mid stream
Aplicaciones al transporte en remplazo de GNC o GNL	Obligación de mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles incluye biometano.	Obligación de mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles incluye biometano. Incentivos para autos verdes, exención impuestos. Ayuda financiera para estaciones de servicios verdes.	Obligación de mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles incluye biometano. Subsidio al biogás para transporte.	No hay obligación de mezcla con biogás.	Metas de reducción de emisión para distribuidores de combustibles. Certificados negociables de des carbonización.	No hay obligaciones de mezcla con biometano.
Otras aplicaciones	Todos los usos de biometano están exentos del impuesto al carbono compuesto al carbono Obligación de calefacción con fuentes renovables en edificios nuevos.	Todos los usos de biometano están exentos del impuesto al carbono y a la energía.	Exención del impuesto al carbono y a la energía para todos los usos salvo inyección en red. Subsidio al uso de biogás para procesos industriales. Subsidio al biogás para calefacción.	Impuesto al carbono en GN para procesos industriales. Beneficios impositivos para todos los proyectos con biogás y biometano.	Por razones climáticas no son prioritarios los usos para calefacción.	La ley prevé beneficios impositivos para proyectos con biogás, pero no se ha implementado, salvo para uso de electricidad.

Fuente: (ENARGAS, 2009)

3.2.3. Posibles soluciones

Mediante el análisis basado en el desarrollo europeo y la expansión de la red de gas natural en la Argentina, se llega a deducir que, en el sector de transporte, el biometano podría sustituir

paulatinamente al GN de origen fósil, comprimido o licuefaccionado a los efectos de su utilización como combustible vehicular. En el caso del GNC, la Argentina cuenta con una red de estaciones de carga relativamente extendida, que sirve de base para el ingreso del BMC, a diferencia del GNL como combustible para el transporte, no tiene aún una red de estaciones de carga desarrollada y el mercado sólo se encuentra disponible para los vehículos pesados. En cambio, para vehículos livianos, el BMC y la electricidad renovable son las alternativas limpias más eficientes. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

Para todos los usos de este, un sistema de promoción basado en la experiencia europea, que consiste en la exención de los impuestos que se cobran a los combustibles fósiles y el aumento progresivo de las obligaciones de mezcla, podría ser suficiente incentivo económico para el desarrollo de un mercado sostenible de abastecimiento basado en biometano. Además, se destaca nuevamente la necesidad primordial de contar con un marco regulatorio integral para el biometano, que establezca reglas claras en cuanto a la habilitación de las plantas de producción, condiciones de calidad, seguridad y comercialización. Estas previsiones son absolutamente necesarias para disminuir los riesgos y aumentar las inversiones. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

Es relevante aclarar, que se ha logrado, en Argentina, una amplia difusión del uso del gas natural mediante la conversión de su parque automotor a GNC. Este proceso ha generado, por un lado, demanda de un insumo que presenta una ventaja comparativa, y, por el otro, ha encadenado todo un desarrollo de valor agregado en fabricación de surtidores, compresores, cilindros e ingeniería propia. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

La demanda de gas natural para el transporte en Argentina en el año 2017, como así también, la proyección para el año 2025 se puede observar en la *Tabla 8*.

Tabla 8: Demanda de gas destinada al transporte en Argentina

Transporte	Destino	Año 2017 (MMm ³ /d a 9300 kcal)	Año 2025 (MMm ³ /d a 9300 kcal)
Autos particulares	Uso particular	3,99	11,81
Taxis y remises	Transporte publico	1,95	2,53
Utilitarios	Actividades de servicio y logística	1,1	11,79
Ómnibus urbanos e interurbanos	Transporte publico		3,58
Camiones livianos	Transporte de basura, alimentos en urbes		2,71
Tractores y camiones pesados	Transporte de carga		4,46
Flota total		7,04	36,88

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

Según datos del año 2018, el parque automotor convertido a GNC en Argentina abarca 1,65 millones de vehículos, y tiene perspectivas de crecimiento. El país cuenta con una de las redes de abastecimiento más extensas a nivel mundial, que sobrepasa las 2.000 estaciones de carga, superior a cualquier país de la OCDE (organización para la cooperación y el desarrollo económico). Además, el

parque automotor circulante a GNC alcanza a casi el 12,4% del total del parque automotor, cifra que resulta relevante a nivel mundial.

Por otro lado, en la actualidad, se ha logrado la incursión del GNL en el transporte pesado, con una experiencia reglamentaria convocada por el ENARGAS, cuya síntesis es la Norma NAG 451. Las expectativas están puestas, en el corto plazo, en lograr una red de buses de transporte público que utilicen GNC, que no solo promueva el uso comercialmente competitivo del gas local, sino que además ayude a difundir este combustible, el cual resulta ecológicamente más amigable que otros fósiles líquidos.

El desarrollo actual del GNL en vehículos pesados de larga distancia y en buses urbanos junto con la utilización de GNC determinarán una modificación profunda en el esquema de movilidad a nivel internacional. Asimismo, las tecnologías de GNL han dado autonomía ante largas distancias, y el uso del GNC en el transporte urbano genera menos contaminantes e incluso disminuye los ruidos nocivos. Su expansión abarca también, de forma coordinada por las Directivas Europeas, el transporte marítimo y el ferrocarril. El BioGNL puede ser sustituto del GNL, el gasoil y/o la nafta, como combustibles para el transporte. Adicionalmente, puede usarse en centrales térmicas para sustituir el gasoil y fueloil que se utilizan en determinados períodos del año para generar energía eléctrica. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

3.2.4. Bonos verdes

Los bonos verdes son aquellos instrumentos financieros que permiten recaudar fondos a ser aplicados, exclusivamente, a financiar o refinanciar en parte o en su totalidad, proyectos que sean nuevos o existentes con el potencial de producir efectos medioambientales positivos, de acuerdo con la definición de la Asociación Internacional de Mercado de Capitales (ICMA).

Se encuentran disponibles para las instituciones financieras comerciales y los bancos nacionales de desarrollo a fin de apoyar sus esfuerzos por recaudar fondos privados en plazos y términos adecuados en los mercados de capital locales e internacionales, mediante la emisión de bonos verdes o de sostenibilidad. Esas emisiones deberían atraer a inversores institucionales y de impacto nacionales e internacionales y, por lo tanto, incidir en la capacidad del emisor de diversificar las fuentes de financiamiento, promoviendo al mismo tiempo las inversiones con bajas emisiones de carbono o las inversiones con repercusiones sociales positivas significativas.

Los bonos verdes, sociales y temáticos permiten acelerar la adopción de nuevas tecnologías innovadoras, financiar proyectos que proporcionen empleos verdes y promover la resiliencia económica y climática. (iprofesional, 2021)

Los bonos pueden beneficiar a los emisores en los siguientes aspectos:

- Demanda y diversificación de inversores: Atraen a nuevos inversores y tipos de inversores, proporcionando un mercado potencial para futuras emisiones.
- Habilitan proyectos a un menor costo de capital: Asegura montos de capital considerables, que son requerido para apoyar inversiones ambientales que de otra manera no estarían disponibles.
- Beneficios fiscales (en algunos contextos): Diferentes tipos de incentivos fiscales que los hacedores de políticas establecen para apoyar la emisión de bonos verdes.

- Mejoran la reputación y la visibilidad: Ofrece a los emisores la posibilidad de considerarse innovadores y sostenibles, demostrando su compromiso de contribuir a la solución de los problemas climáticos y sociales. (iprofesional, 2021)

La mayoría de los bonos verdes y sostenibles son bonos en los que el emisor promete a los inversores que los fondos recaudados sólo se destinarán a programas específicos relacionados con el clima o a activos verdes, contribuyendo así a resultados ambientales y climáticos beneficiosos.

Los bonos verdes sociales y temáticos permiten superar las barreras a las inversiones verdes como lo son el escaso financiamiento dedicada a los activos y proyectos verdes y sostenibles, la falta de alineación en la toma de decisiones de financiamiento del sector público con la dimensión ambiental del desarrollo sostenible y las brechas de inversión en tecnologías limpias y verdes, financiamiento de economías verdes sostenibles basadas en recursos naturales, economía azul inteligente para el clima.

3.2.5. Bonos verdes en Argentina:

La Comisión Nacional de Valores (CNV) aprobó la Metodología de Evaluación de Bonos Verdes presentadas por UNTREF Agente de Calificación de Riesgo Universidad Pública.

Esta metodología tendrá por objetivo evaluar que las emisiones se dirijan a la obtención de financiación para Proyectos Verdes (PV), que puedan ser elegibles como Bonos Verdes de acuerdo con las categorías de proyectos contenidos en los Principios de los Bonos Verdes (Green Bond Principales) y su impacto ambiental positivo. (GFL, 2021)

Se asignarán niveles o escalas a los instrumentos emitidos, lo que permitirá a los inversores determinar que los fondos serán destinados a financiar las iniciativas con impacto ambiental positivo, como energías renovables, eficiencia energética, prevención y el control de la contaminación y gestión sostenible de los recursos naturales y el uso de la tierra. (GFL, 2021)

El desarrollo de las finanzas sostenibles permite financiar proyectos con beneficios ambientales, convirtiéndose en un eje fundamental para el desarrollo del mercado de capitales con bases sólidas en la sostenibilidad. (GFL, 2021)

Es por esto que se plantea como una ventaja la posibilidad de acceder a Bonos Verdes para la financiación del proyecto.

3.2.6. Biomasa

La República Argentina, con una población 40.117.096 habitantes (Censo Nacional 2010), reporta una cobertura de recolección de RSU del 99,8 %, una tasa de disposición final en rellenos sanitarios del 65 % y una tasa de generación de 1,15 kg/hab*día de RSU (BID-AIDIS-OPS). Esta cobertura de disposición final en RS es menor en las regiones Norte (50,1 %) y Cuyo-Mesopotamia (15,2 %), siendo que en el resto del país alcanza un 79,4 %. El remanente, 35 % de la población, cuenta con una disposición final inadecuada: 10 % en vertederos controlados, 25 % en basurales a cielo abierto. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

Según el censo realizado en el año 2010 se obtuvo la información provista en la Figura 2, donde se especifica el porcentaje de hogares cubiertos con recolección regular. Se logra deducir que la mayoría de las provincias cuentan con una recolección regular mayor al 95%, excepto aquellas ubicadas preferentemente en el norte del país.

En las principales áreas metropolitanas se cuenta con plantas de separación, y se está desarrollando una industria para el procesamiento de los residuos recuperados (plásticos, vidrios, papel y cartón), los cuales son mayormente recolectados por recuperadores y recuperadoras, tanto en la vía pública como en sitios de disposición final. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

Sin embargo, el hábito de clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU) es practicado de manera desigual. Hacia 2017, el MAyDS (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible) estimaba que en promedio solo el 37% de todas las localidades de todas las provincias contaban con sistema de separación de residuos sólidos urbanos. Solo siete de las provincias poseían la mitad o más de sus jurisdicciones con sistemas de clasificación. Cuatro de ellas alcanzaban, como máximo, el 6% de la separación.

La disposición final en rellenos sanitarios puede ser llevada a cabo, además de la separación en casas particulares, por grupos de trabajadores que se dedican a la recolección y posterior discriminación de desechos y por medio de plantas industriales mecanizadas de separación de residuos.

En el año 2020 se anunció un Plan Federal de Erradicación de Basurales a Cielo Abierto, se estima que los mismos abarcan un total de 5.000 en todo el país, sin condiciones mínimas de seguridad, y son utilizados por municipios con el fin de eliminar la basura. Este proyecto busca, como solución, la construcción de más complejos socioambientales para tratar de forma diferenciada y eficientemente a los residuos dependiendo de su naturaleza, así como también la provisión de equipamiento de protección para los recuperadores y recicladores urbanos de todo el país. Sin embargo, su implementación se encuentra en curso.

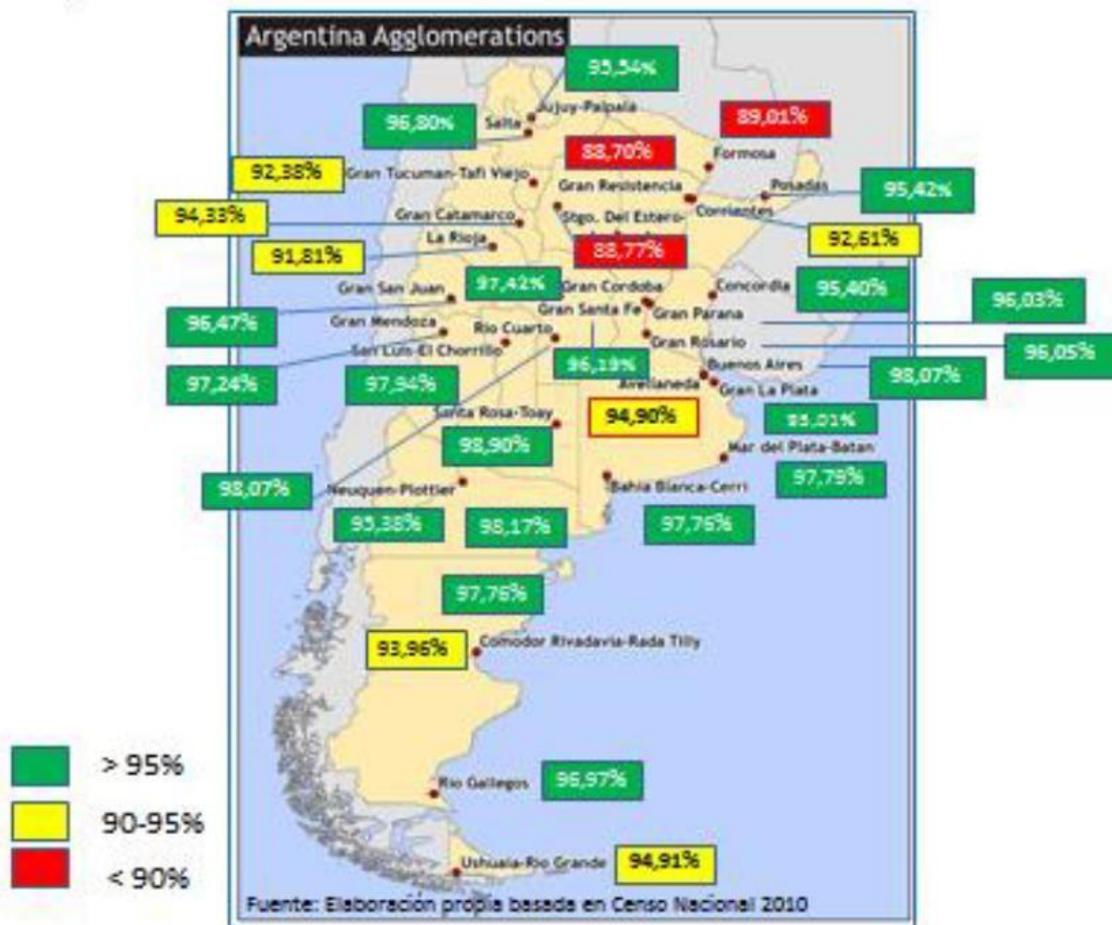


Figura 2: Porcentaje de hogares cubiertos con recolección regular.
Fuente: (Banco mundial diagnóstico de la gestión integral de RSU en Argentina, 2015)

En el contexto de la provincia de Córdoba, según datos brindados por el Observatorio Nacional para la Gestión de RSU, se generan 3.300 toneladas por día de residuos, con un promedio por habitante de 1,011 kilogramos y una tasa de crecimiento anual superior al 0,3%.

En la Figura 3, se observa la clasificación de los RSU obtenidos en Argentina. Según estudios realizados por el CEAMSE (año 2015) junto al Gobierno del país, una persona consume unos 42 kilogramos de residuos plásticos en un año, de esa cantidad solo el 25% se logra reciclar.

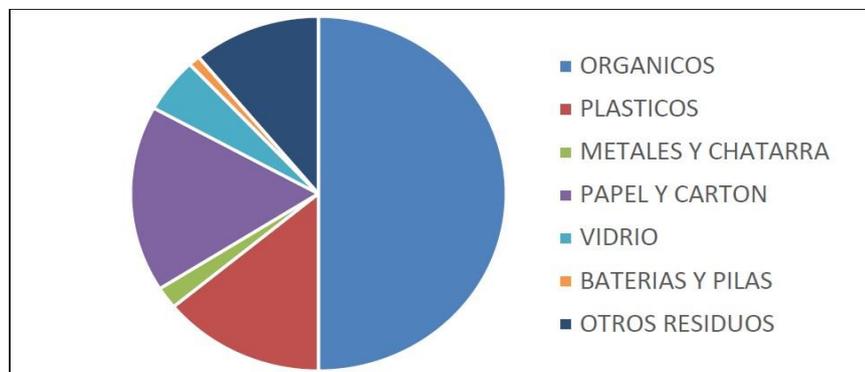


Figura 3: Clasificación de RSU en Argentina.
Fuente: (Banco mundial diagnóstico de la gestión integral de RSU en Argentina, 2015)

3.2.7. Productos sustitutos

Proveedores de materia prima

En el presente proyecto, en particular, los proveedores de FORSU, que luego servirá para la producción de biometano, están conformados por todos aquellos municipios que cuenten con una recolección y separación de residuos. Por ende, el costo de la materia prima es nulo, ya que es considerado un desecho, es así como resulta ser una gran oportunidad para propiciar la producción de energías verdes. En la Figura 4, se definen las plantas de tratamiento de RSU detectadas en el país según datos recolectados en el año 2015. Existen aproximadamente 150 plantas mecanizadas de tratamiento de residuos sólidos municipales en el país. 21 de las 24 provincias tienen, al menos, una planta de tratamiento de RSU. La mayoría de las plantas de tratamiento instaladas son de tamaño pequeño o mediano (141 de las 150 plantas relevadas tienen una capacidad menor a 100 toneladas/día). En el Gran Buenos Aires se encuentra la de mayor capacidad de tratamiento.

Clientes

El biometano producido se puede utilizar, como se mencionó anteriormente, para la producción de GNC, GNL, al igual que para la inyección a la red de gas natural y, así, reemplazar los hidrocarburos convencionales. Además, se obtiene como subproductos biofertilizante y CO₂, todos ellos con posible comercialización en el mercado.

Referido a los dos primeros combustibles mencionados, los posibles clientes son estaciones de servicio, como YPF, PUMA, OIL, SHELL, AXION, entre otras. En cuanto al gas natural, se comercializa con empresas como ECOGAS, gas del estado, como así también, se puede utilizar para consumo propio.



Figura 4: Número de plantas mecanizadas de tratamiento de RSU
Fuente: (Banco mundial diagnóstico de la gestión integral de RSU en Argentina, 2015)

3.3. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta de planificación estratégica, diseñada para realizar un análisis interno (Fortalezas y Debilidades) y externo (Oportunidades y Amenazas) en la empresa. Se recurre a ella para desarrollar una estrategia de negocio que sea sólida a futuro.

Fortalezas

- Se obtiene GNC sin depender de la disponibilidad de combustibles de origen fósil.
- Se obtiene biofertilizante, subproducto comercializable, como sustituto de la mayoría de los fertilizantes industriales.
- Se logra extraer CO₂.
- Favorece las condiciones del medio ambiente al no arrojar metano a la atmósfera, ayudando de esta manera a mitigar el cambio climático.
- Se eliminan olores indeseables que afectan al establecimiento y a las poblaciones que se encuentran cercanas al mismo.
- Se logra eliminar la gran cantidad de moscas e insectos que se concentran en la zona por la presencia de residuos
- Se mejoran las condiciones sanitarias.
- Se logra una independencia de precios de otras fuentes de energía que actualmente se encuentran en aumento.
- Se obtiene un producto, a partir de tecnologías limpias, con una larga vida útil.
- Se posiciona como una de las empresas comprometidas con el proyecto de reciclaje
- Se consigue solucionar el problema de la basura en la ciudad, como la total recolección de residuos domiciliarios, realizar una correcta gestión de residuos sólidos urbanos, y en gran medida mejorar y beneficiar a la ciudad de los problemas que la basura genera hacia las personas y el medio ambiente.
- Se logra cerrar gran parte de los basurales a cielo abierto.
- Se consigue ser una de las pocas empresas productoras de bioGNC del país.

Oportunidades

- Extenso parque automotor convertido a GNC en Argentina.
- Existencia de mercado para la comercialización del biofertilizante y CO₂ producido.
- Se pueden obtener bonos de carbono
- Posibilidad de ser referente en relación al know-how, para otros establecimientos que deseen implementar dicha fuente de generación.
- Posibilidad de establecer negocios con la comunidad y otros productores.
- Lograr independencia de combustibles.
- Capacidad de disminuir el porcentaje de disminución de importación de gas natural.
- Existencia de demanda creciente de productos verdes, que ofrezcan soluciones no contaminantes a los usuarios.
- Subsidios del gobierno a empresas para iniciativas de ahorro y eficiencia.
- Tendencia mundial a la reducción de consumo de combustibles de origen fósil.
- Aumento continuo en el precio del petróleo.
- Nuevas leyes en la promoción de energías renovables y reducción de consumo.
- Posibilidad de financiamiento a partir de Bonos Verdes.

Debilidades

- Posibles emanaciones de gas metano al ambiente por pérdidas.
- Falta de mano de obra capacitada.
- Falta de tecnología nacional adaptada para la obtención de biometano.

- Alto costo de productos verdes.
- Alta inversión inicial.
- Reducidas ganancias económicas

Amenazas

- Falta de conciencia de la población para utilizar productos verdes.
- Insuficiente conocimiento de dichos productos.
- Política de subsidios a la energía no renovable.
- Posible competencia futura.
- Condición socioeconómica del país.
- Falta de presupuesto.
- Cultura organizacional del gobierno.
- Reducción de aranceles a la importación de gas natural.

3.4. Panorama del gas en Argentina

Con una producción local en baja y una demanda interna creciente, Argentina tuvo que aumentar su importación de gas para abastecer sus necesidades. Como se puede ver en la Figura 5, la evolución de la balanza comercial de gas natural ha pasado por diversas situaciones en los últimos 25 años. Desde comienzos del 2006, Argentina pasó de ser exportador de gas natural a ser importador constante, con un mínimo en exportaciones de GNC, manteniéndose casi constante y aumentando las importaciones. Es así como, a partir del año 2011, Argentina tuvo 9 años seguidos de déficit energético, debido primeramente a una producción declinante sin incentivos correctos y luego a una demanda creciente de gas natural, mientras la economía tenía signos positivos. Aunque a partir del año 2018 se comienzan a elevar mínimamente las exportaciones.

Actualmente se puede observar en la Figura 6 y la Figura 7 que, las exportaciones en los primeros meses de lo que va del año disminuyeron en comparación al año 2020, aumentando así las importaciones.

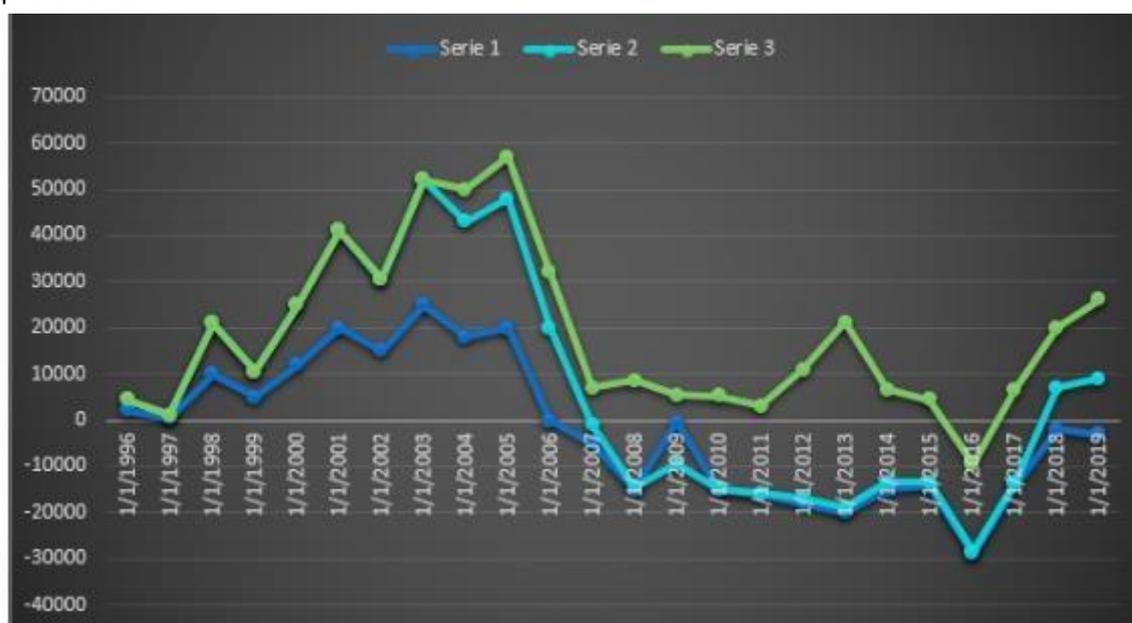


Figura 5: Evolución de la balanza comercial de gas natural.
Fuente: (SAESA, 2020)

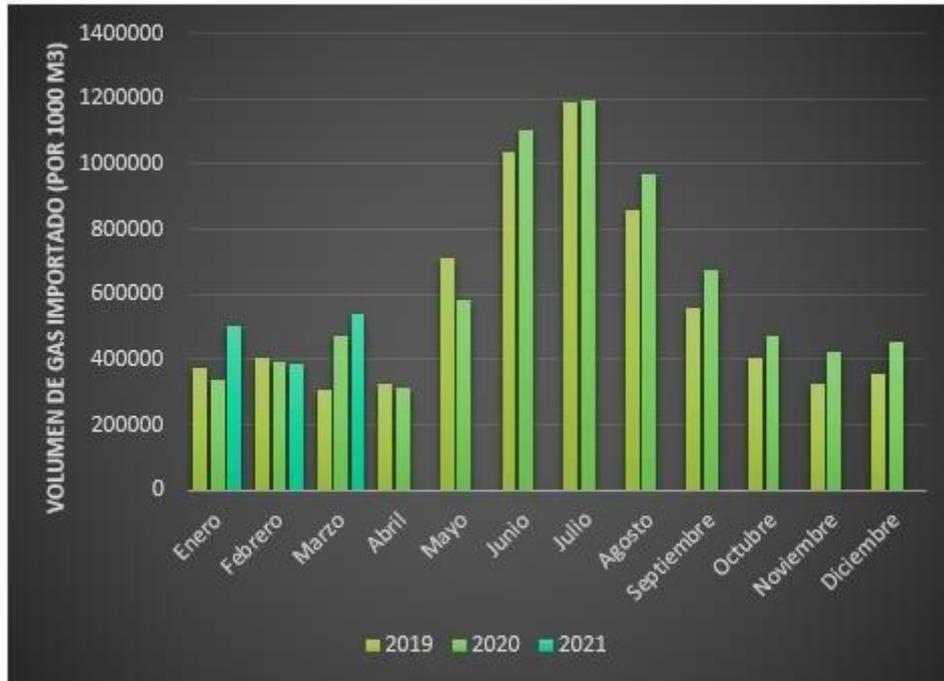


Figura 6: Volumen de gas importado.
Fuente: Elaboración propia.

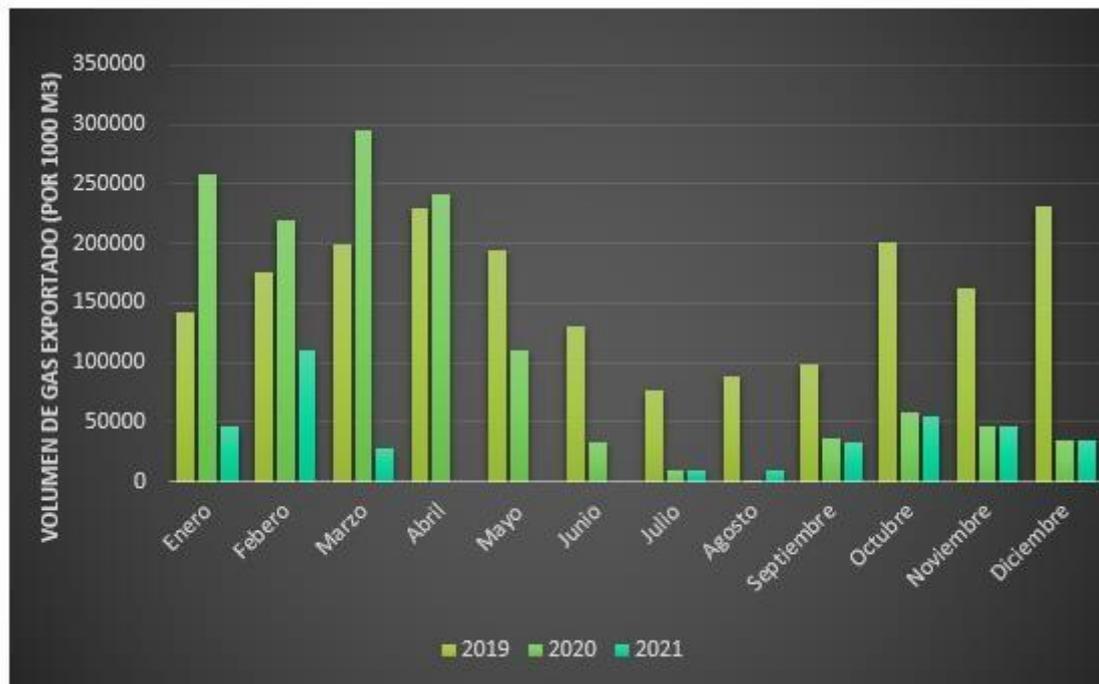


Figura 7: Volumen de gas exportado.
Fuente: Elaboración propia.

Las compras al exterior crecieron más de un 400%. Se pasó de adquirir $1,7 \times 10^9 \text{ m}^3$ en 2005 a superar los $7,41 \times 10^9 \text{ m}^3$ en 2020, con el consecuente impacto negativo para la balanza comercial.

En ese contexto, también se ampliaron las fronteras. Además de Bolivia, único proveedor en 2005, Argentina debió recurrir a otras fuentes para abastecerse. Primero fueron los buques cargados con Gas Natural Licuado (GNL), que se incrementaron año a año desde 2008 hasta la actualidad. Luego se sumó Chile, país que años atrás compraba gas a Argentina. Hoy, Bolivia se mantiene como el principal

proveedor, las importaciones desde él se realizan por red y de GNL en el puerto de Escobar, aunque su oferta no alcanza para abastecer el consumo de hogares e industrias en la Argentina. (La Nación, 2016) Qatar, Trinidad y Tobago, Nigeria o Australia son algunos de los países desde donde procedieron los barcos con cargamentos de gas natural licuado (GNL) contratados por la Argentina. En esta modalidad, se licitan y compran buques que transportan el hidrocarburo, que se amarran en el puerto de Escobar y, donde se regasifica el cargamento para volcarlo a la red, aunque en comparación a la compra de GNC, la de éste es mínima. (El Diario, 2016)

Las exportaciones ocurren casi exclusivamente a Chile, por medio del gasoducto Nor Andino y Gas andes, como así también a la empresa Methanex. Sin embargo, actualmente se comenzó nuevamente a exportar a Brasil, mediante Transportadora de Gas del Mercosur (TGM), y Uruguay a través de gasoducto Cruz del sur, como así también por petroUruguay. En la Figura 8, se puede observar la ubicación de los gasoductos nombrados.

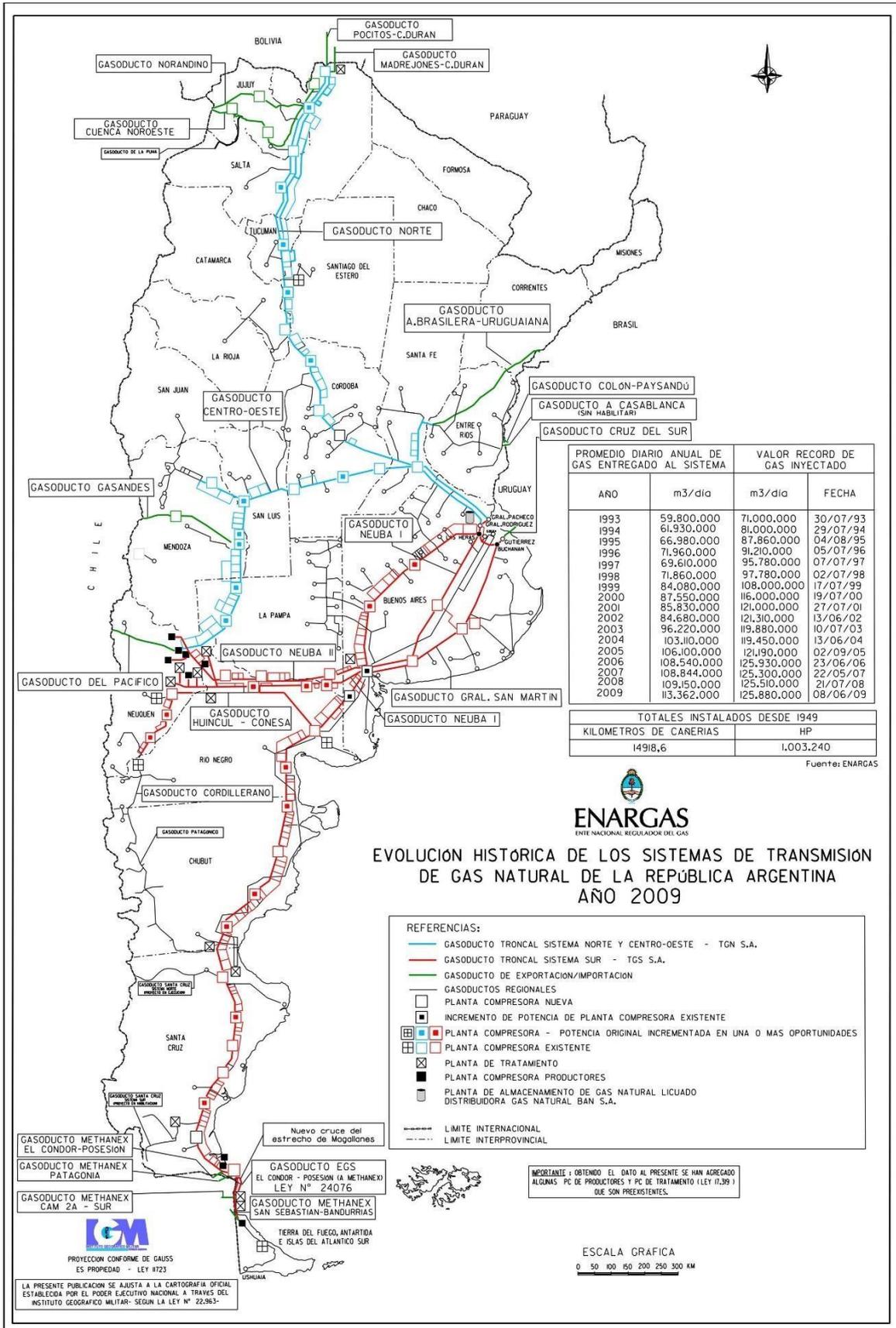


Figura 8: Gasoductos Argentina.
Fuente: (ENARGAS, 2019)

La producción nacional de gas natural proviene de diferentes cuencas, Neuquina, Austral, Golfo San Jorge, Noroeste y Cuyana. La más importante es la formación sedimentaria denominada Vaca Muerta, la cual se encuentra en la cuenca Neuquina. En la Figura 9, se presenta la producción anual de Gas natural entre los años 2009 y 2020. Se observa que existió una tendencia decreciente en la producción de Gas natural en la última década, la cual fue interrumpida a partir del año 2014 donde empieza a crecer, hasta el año 2019, volviendo a decrecer en la actualidad. Según datos de Secretaría de Energía de la Nación, la producción diaria promedio en vaca muerta para el mes de enero de 2021 fue de $2,68 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{día}$.

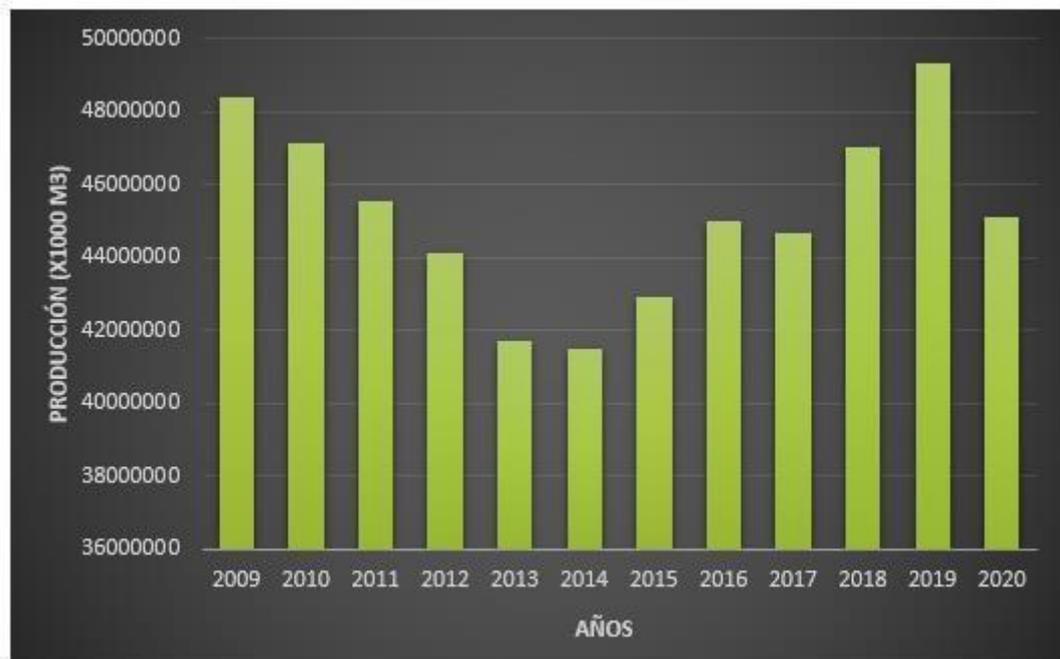


Figura 9. Producción de gas natural en Argentina.
Fuente: (Instituto Argentino del petróleo y del gas, 2021)

3.4.1. Evolución del precio del gas en Argentina

Según la Secretaría de Energía, el precio de los Mm^3 de gas natural en Argentina ha variado de la siguiente manera en el transcurso de los años. En la figura 10 se muestra la variación de la tarifa de gas entre los años 2015 a 2020

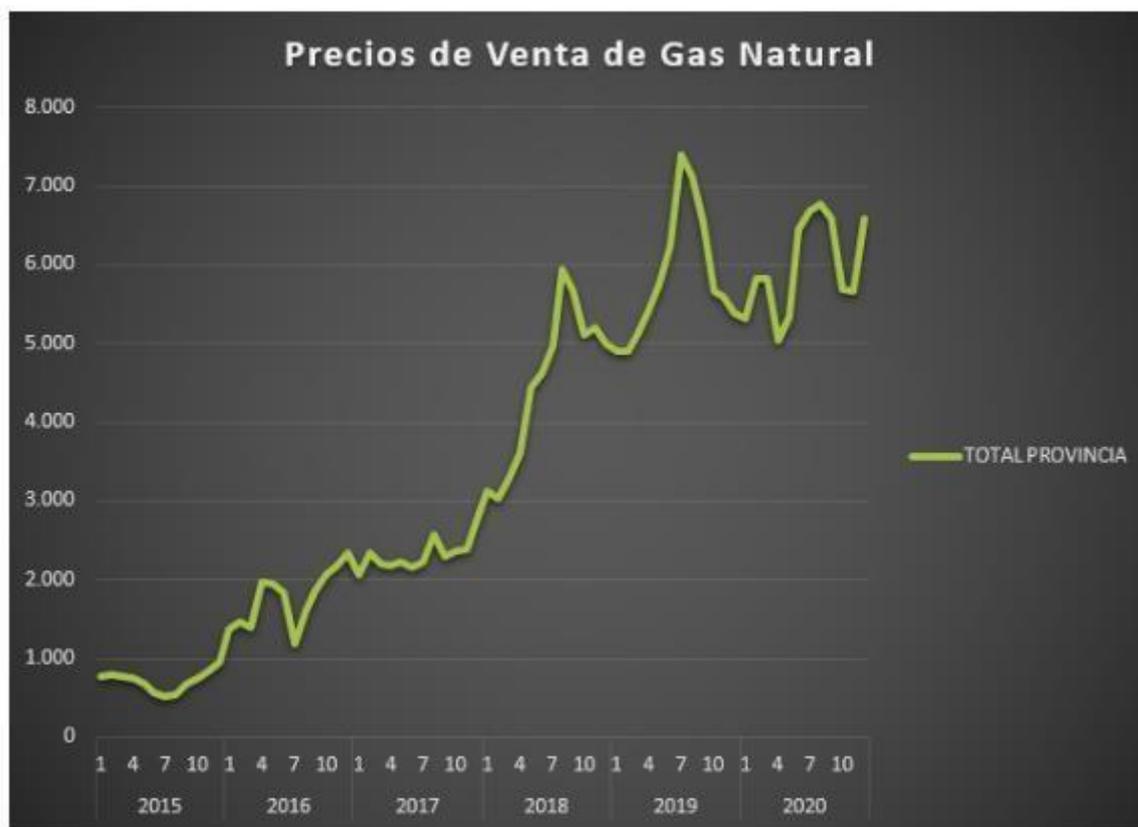


Figura 10: Precios de venta gas natural en Argentina (2015-2020)

Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina., 2021)

Por lo que respecta a la Figura 10, se puede observar notablemente un aumento del precio del gas con el correr de los años, lo que implica que, si no se realiza una estrategia adecuada para el autoabastecimiento correcto y se deja de lado la importación, el país tendrá muchos problemas futuros. Este es uno de los pilares en los que se basa la realización de este proyecto de grado.

En la Figura 10, se representa la variación del precio de venta de gas al consumidor según la contribución del gobierno nacional. A medida que los subsidios nacionales disminuyen el importe del gas natural al consumidor aumenta.

Si bien, ambos gráficos representan el incremento del precio de venta de gas, en la Figura 11, se analiza cómo la variación del precio es afectada principalmente por los aportes regidos por el gobierno de turno. En 2015 el usuario residencial argentino pagaba un diez por ciento del costo del gas consumido. El saldo, subsidio del estado, obliga muchas veces al productor doméstico a vender por debajo del mercado, congelando tarifas, impidiéndole exportar o creando derechos de exportación.

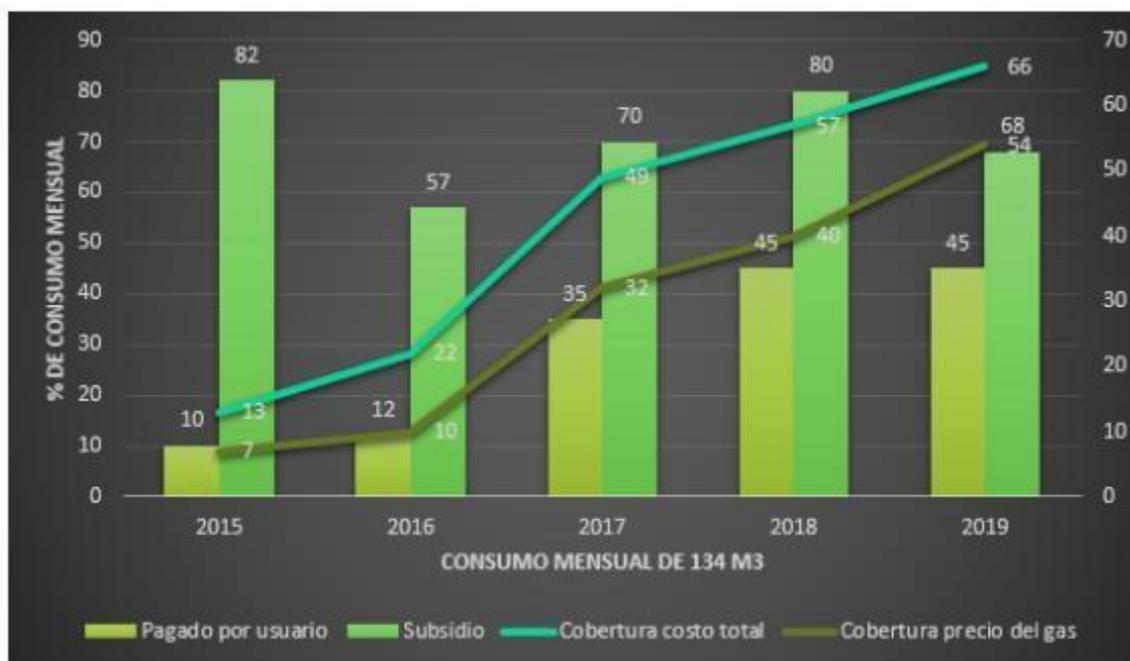


Figura 11: Tarifas residenciales - tarifa media (USD/MMBTU)

Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina., 2021)

Además, se puede evidenciar que hay una tendencia a la constante suba del precio del gas, en el que es posible aplicar el proyecto de biometano, ya que el autoabastecimiento y el aprovechamiento de los recursos energéticos de nuestro país son puntos en los que se tendrá que hacer énfasis para abaratar costos y tener una economía energética más estable.

En la actualidad las tarifas de gas tendrán el primer aumento en el mes de mayo de 2021 desde diciembre de 2019, ENARGAS dictó que el aumento será de 6% a 7% en promedio para los residenciales y de un 4 % para pequeñas y medianas empresas. (El Cronista, 2021)

Argentina afronta una profunda crisis energética, con mal servicio y cortes frecuentes, falta de inversión, alta dependencia de los hidrocarburos e importación de energía a precios elevados. Si bien es un país con una rica historia energética y con muy buenas condiciones para producir gas, petróleo, energía eólica, solar y nuclear, hace años que se perdió el autoabastecimiento. El sistema energético se encuentra totalmente privatizado y extranjerizado. Esto significa que la canasta de productos energéticos producidos es de menor valor que la energía consumida, y por eso se debe importar una gran cantidad de energía para satisfacer el consumo interno. (Sindicato de Luz y Fuerza de Mar del Plata, 2016)

Debido a esto, el gobierno intenta ofrecer una solución a partir del plan gasAR, el cual apunta a fijar reglas claras y estables por varios años, junto con un mecanismo de competencia, para que las empresas productoras de gas hagan propuestas de inversión y reviertan la tendencia declinante de la producción. Se han presentado varias ediciones a lo largo de los últimos años. El último se presentó en octubre del 2020, el mismo tiene como objetivos, detener el declino de la producción, sustituir más de 18.000 Mm³ de gas y trabajo importado, elevar la inversión, incrementar de forma proporcional y progresiva el Valor Agregado Nacional y aumentar la recaudación fiscal.

Se puede considerar como el punto de partida para un proceso de inversiones que tendrá como protagonistas principales a las empresas productoras, los trabajadores, las PyMES e industrias

regionales, que nos permitirá ponerle fin al declino de la producción de gas en nuestro país y a la parálisis de la actividad.

La eficacia de este tipo de plan se construye a partir de su implementación. Su éxito dependerá de cómo se regulen las cuestiones que el Poder Ejecutivo Nacional ha delegado y que el Plan Gas sea respetado en tiempo y forma. Superada la coyuntura actual, cuyos efectos este nuevo Plan Gas intenta mitigar, es esperable un retorno a las reglas de mercado que en su momento permitieron lograr y mantener el autoabastecimiento energético.

Si el análisis se centra específicamente en el GNC, se puede observar que el incremento del precio del GNC fue cada vez mayor, esto comenzó a ocurrir con mayor énfasis en el año 2016, donde además se puede visualizar una gran variación del importe a lo largo del año.

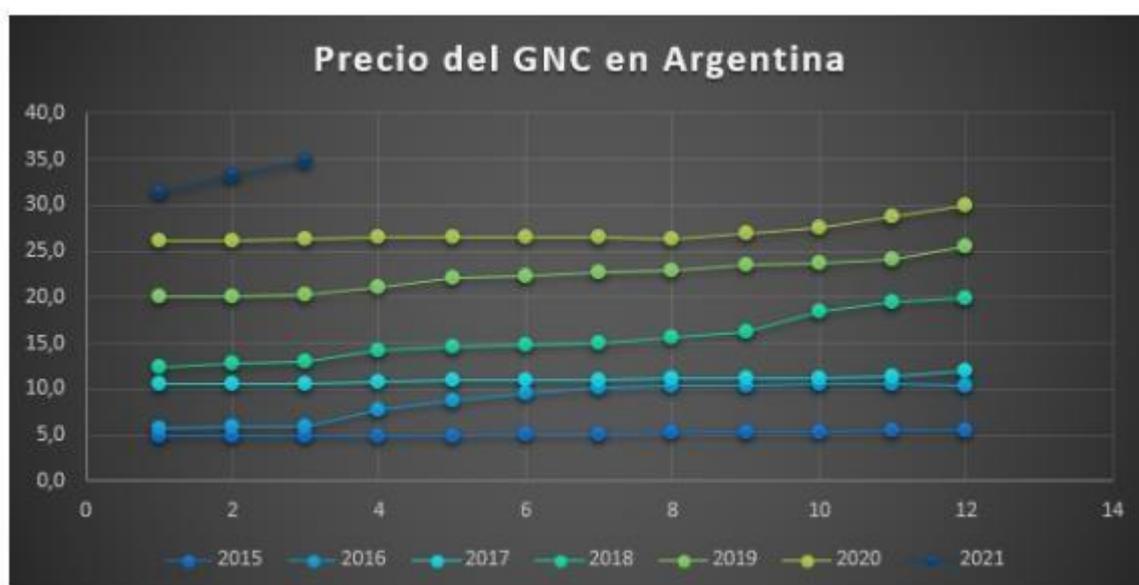


Figura 12: Precio del GNC en Argentina.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Precios del GNC
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las tarifas del GNC con las del Gas Natural se puede observar que si bien, en ambas gráficas se nota una tendencia creciente, se diferencian en que los precios del gas natural presentan picos crecientes y decrecientes, evidenciando inestabilidad debido a diversos factores como la época del año, diferentes subsidios, entre otros.

En cuanto al consumo de GNC dentro del país, se puede notar en la Figura 14, que el consumo no es termodependiente, aunque presenta una estacionalidad, disminuyendo en los meses de verano. Además, el consumo de GNC aumenta en periodos de crisis y cuando se incrementa la diferencia de precio entre el mismo y los combustibles líquidos.

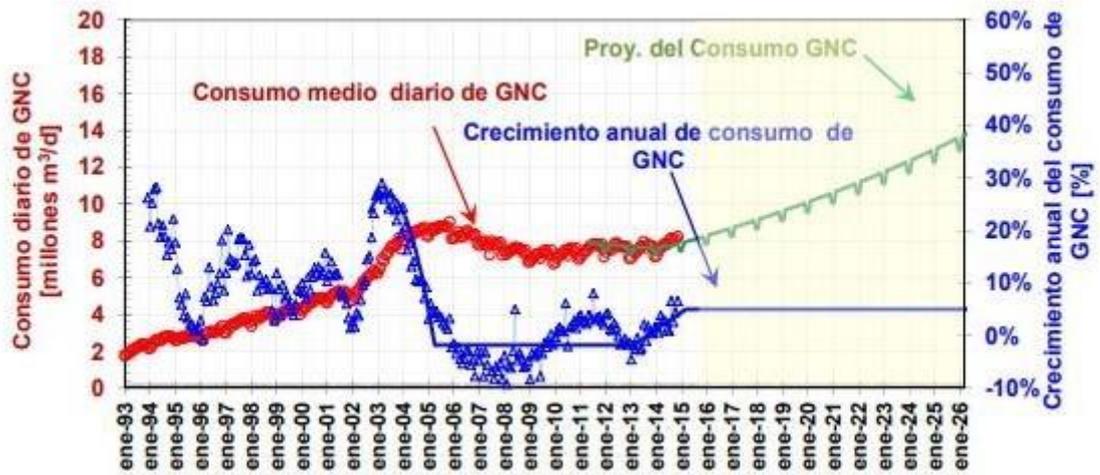


Figura 14: Variación del consumo de GNC, en el ámbito de todo el país, círculos rojos, referidos al eje vertical izquierdo. Con triángulos azules, se representa en crecimiento del consumo, referido al eje vertical derecho. La zona sombreada indica la proyección supuesta para la próxima década.

Fuente: (ENARGAS, 2019)

Uno de los grandes desafíos que el país enfrenta en los próximos años es cómo desarrollarse su potencial energético y reducir el impacto en la balanza de pago de las importaciones de energía en general y gas en particular.

Una solución para lograr el autoabastecimiento de gas, además de una importante inversión en el desarrollo de las energías renovables, es implementar un programa intensivo y sostenido de eficiencia energética. Sólo así, será posible lograr un adecuado abastecimiento local de las demandas futuras, y a su vez alcanzar una disminución considerable del impacto ambiental.

Como ha venido ocurriendo en la mayoría de los países, la problemática energética requiere de un enfoque combinado que incentive la producción de biocombustibles pero que, al mismo tiempo, atenúe el incremento de la demanda a través de activos programas de eficiencia energética. En este sentido, la eficiencia energética, puede visualizarse como una gran oportunidad que contribuye por una parte a reducir considerablemente las importaciones de gas y al mismo tiempo permite promover un importante desarrollo económico local, a la par de contribuir a disminuir nuestras emisiones de GEI (gas efecto invernadero), como así también posibilitando una mayor inclusión energética.

3.5. Abono en Argentina

La producción agrícola Argentina se distingue por su constante evolución. En las últimas tres décadas, el consumo de fertilizantes se incrementó más de 10 veces, pasando de 300 mil toneladas en el año 1990 a 4,6 millones toneladas en el año 2019, alcanzando un Récord de consumo de fertilizantes según información de la “Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos” (CIAFA). Como se puede notar esto se debe a un fuerte incremento en área y productividad en las últimas décadas de actividad agrícola. El notable aumento de la producción y el rendimiento de los cultivos a nivel mundial pueden ser atribuidos a numerosos factores, tales como el mejoramiento genético, el manejo de plagas y enfermedades, la conservación de los suelos y las prácticas culturales. En este sentido, la aplicación de abonos contribuyó significativamente, por lo que su consumo a nivel mundial creció notablemente. (Subsecretaría de Mercados Agropecuarios, 2020)

La tendencia de crecimiento siempre fue positiva hasta el año 2008, cuando por razones climáticas y macroeconómicas, el volumen se estancó. Durante este período, la correlación entre producción de granos y consumo de fertilizantes fue muy estrecha. Este crecimiento abrió la puerta a la producción local de fertilizantes con fábricas de escala mundial, que fueron ocupando un rol creciente en la provisión del mercado argentino. (HORIZONTE A, 2018)

Los fertilizantes de mayor consumo en Argentina se pueden clasificar en dos grandes grupos según el tipo de nutriente: los nitrogenados, cuyo principal insumo es el gas natural, y los fosfatados, que se producen en base a roca fosfórica. La demanda de fertilizantes depende de varios factores como por ejemplo la estacionalidad, es así que la demanda argentina de fertilizantes evidencia dos máximos en el año. El primero coincide con la fecha de siembra de los cultivos de cosecha fina, principalmente trigo y cebada. El segundo, tiene lugar durante la siembra de los granos gruesos, destacándose el maíz, el girasol y la soja. Se puede observar en la Figura 15 y la Figura 16.

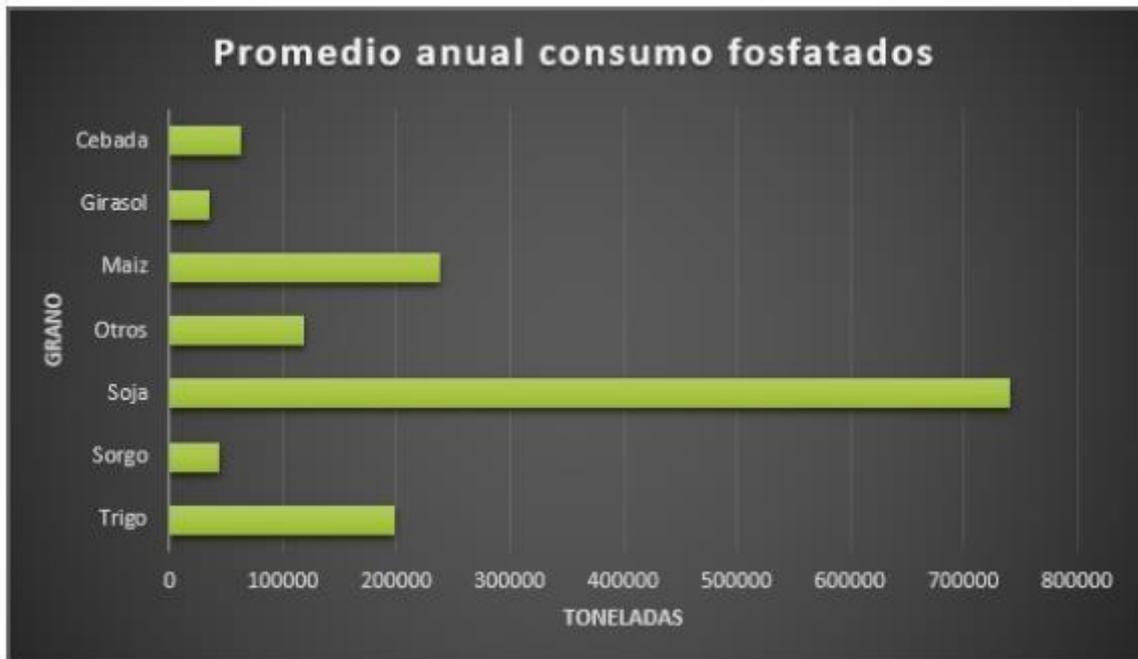


Figura 15: Consumo de fertilizantes por cultivo.
Fuente: (Ministerio de Agroindustria, 2019)

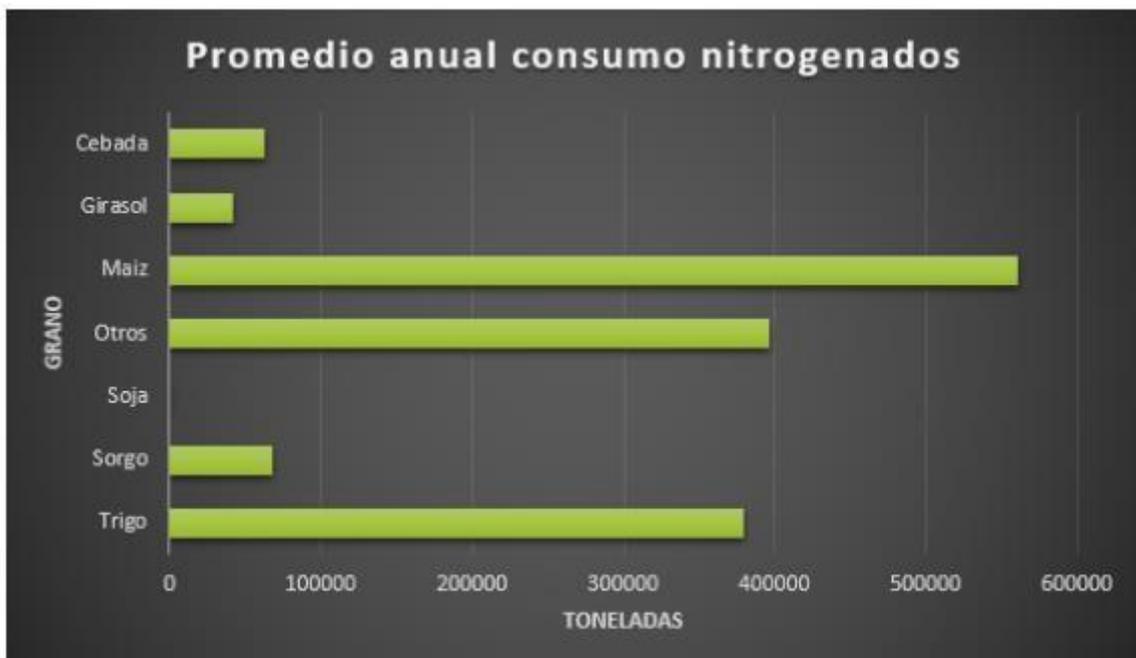


Figura 16: Consumo de fertilizantes por cultivo.
Fuente: (Ministerio de Agroindustria, 2019)

De acuerdo con la oferta de fertilizantes en Argentina, se puede concluir que la correspondiente a nitrogenados es dominada por la producción local, en tanto que la oferta de fosfatados es mayoritariamente importada desde el mercado mundial. El origen de las importaciones proviene de

varios países, tales como los que se observan en la Figura 17 y Figura 18. (HORIZONTE A, 2018)

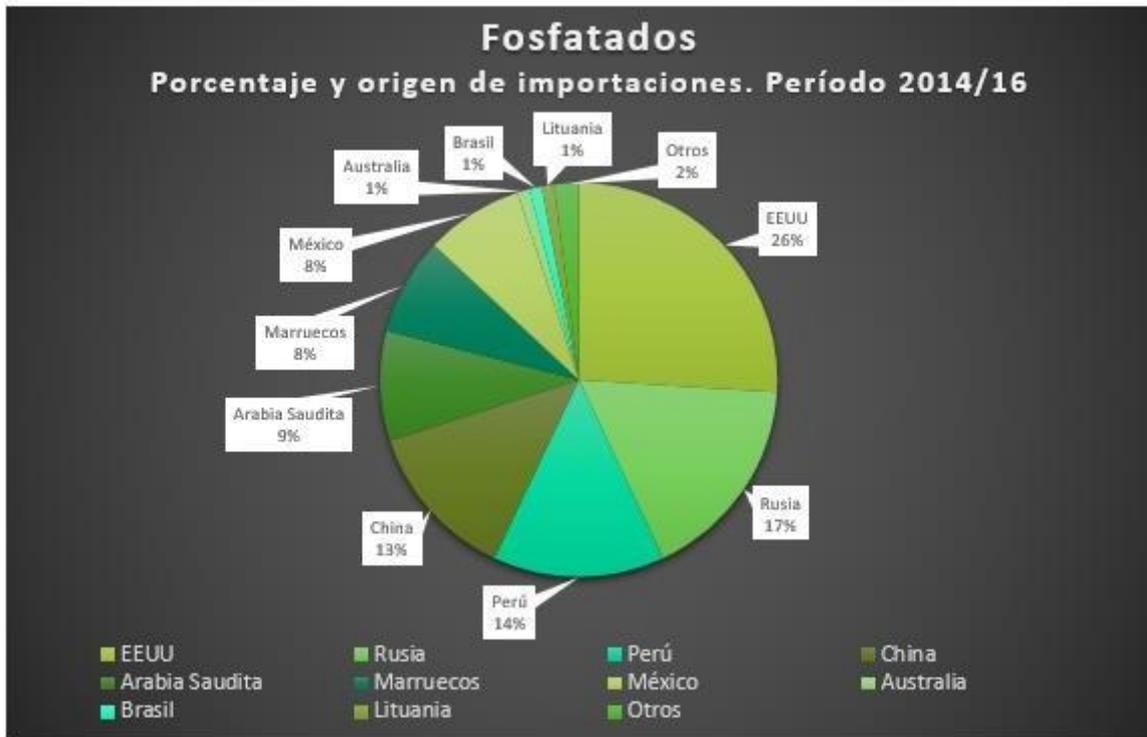


Figura 17: Porcentaje y origen de importaciones periodo 2014/2016
Fuente: (Ministerio de Agroindustria, 2019)

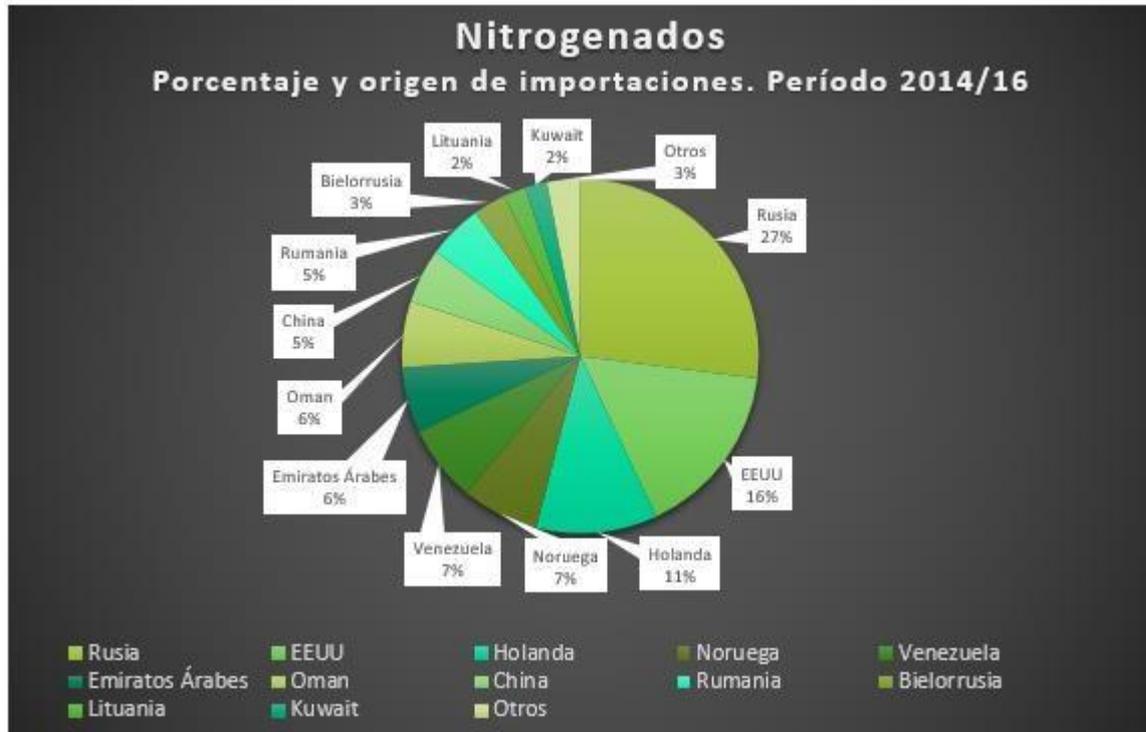


Figura 18: Porcentaje y origen de importaciones periodo 2014/2016.
Fuente: (Ministerio de Agroindustria, 2019)

Debido a la existencia de una marcada estacionalidad en el consumo de fertilizantes, Argentina registra tanto exportaciones como importaciones de fertilizantes, característica asociada a los movimientos de

existencias y la diversidad de productos. El balance final, coloca al país como un importador neto de fertilizantes. Aproximadamente el 65% del fertilizante utilizado por la actividad proviene de la importación y el 35% corresponde a la industria nacional. Sin embargo, el crecimiento del uso de productos de fabricación nacional en los últimos años ha sido notable. (Subsecretaría de Mercados Agropecuarios, 2020)

A continuación, en la Figura 19, se puede visualizar dicha evolución del consumo de fertilizantes.



Figura 19: Evolución del consumo de fertilizantes en Argentina.

Fuente: (Bolsa de Comercio de Rosario, 2020)

Con el fin de darle un valor agregado al lodo resultante del proceso de digestión, surge la propuesta de un bioabono, denominado también digerido, el cual se usa con fines agronómicos, permitiendo sustituir parcial o totalmente el empleo de fertilizantes inorgánicos (urea, fosfato mono amónico y otros), mejorando las propiedades físico-químicas de los suelos por el aporte de materia orgánica y logrando disminuir el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la producción y aplicación de los mismos.

La calidad y composición de los digeridos dependerá del tipo de digestión anaeróbica implementada, de los sustratos utilizados para la alimentación del digestor y del post-tratamiento que se realice (separación sólida/líquido, nitro/denitro, etc.). Existe una Norma técnica para la aplicación agrícola del digerido de plantas de digestión anaeróbica establecida por la Resolución 19/2019 de la ex Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS) 14.

La aplicación del bioabono en períodos del año cuando existe una baja absorción de nutrientes de las plantas puede resultar en la lixiviación y escorrentía de nutrientes hacia las aguas subterráneas y

superficiales, respectivamente. Por lo tanto, el bioabono debe ser almacenado hasta la época adecuada de aplicación, en lagunas impermeabilizadas con geomembrana antes de utilizarse como fertilizante. La extensión del período de almacenamiento requerido dependerá del área geográfica, tipo de suelo, precipitaciones y tipo de vegetación.

De acuerdo con la actividad microbiológica del bioabono, se ha demostrado mediante algunos estudios que no existe la supervivencia de patógenos que afecten a las plantas. Ya que los mismos se destruyen por medio de la combinación de varios factores, tales como temperatura, tiempo de retención, pH, ácidos volátiles, amoníaco y demás.

Por otra parte, el bioabono reduce el uso de herbicidas, debido a que no es compatible con las semillas de malezas.

3.6. Conclusiones

El país se encuentra en un acelerado proceso de agregado de valor en origen y la realidad actual evidencia las exigencias que esto genera en cuanto a una mayor oferta energética. Al mismo tiempo, la preocupación por el proceso de calentamiento global ha movilizó a las naciones del mundo a buscar soluciones, en las cuales las energías limpias (renovables y con reducción de las emisiones de carbono) juegan un papel fundamental.

Con este panorama, es inminente el desarrollo de biocombustibles en Argentina, más aún siendo un país con una extensa oferta de recursos naturales y ambientales. El biometano es uno de los biocombustibles de menor crecimiento hasta ahora.

El proyecto en cuestión ofrece a la comunidad un producto, que puede servir para abastecer buena parte del consumo local de GNC, y de resultar excedente, se puede transportar y comercializar mediante gasoductos, a otras regiones. Además, sumado a la tendencia creciente de la población, la cual tiene como consecuencia el aumento de residuos tanto orgánicos como inorgánicos, por ende, la materia prima no será escasa y se podrá llevar a cabo el proyecto.

Como consecuencia del proceso, se produce un excelente abono para los cultivos, y de esta manera no se genera ningún tipo de efluente durante la transformación, disminuyendo el impacto ambiental que presenta la disposición de residuos a cielo abierto.

Sumado a ello, se disminuyen las importaciones, aumentado las producciones locales tanto de biofertilizante como de bioGNC.

4. Localización de la planta

4.1. Alternativas para la ubicación de la planta

La industria del biometano comprimido puede utilizar distintos tipos de materias primas, en este caso, se realiza a partir de FORSU generada por la población y recolectada por empresas de clasificación, sometiéndose a un proceso adicional, logrando aportar valor a un material no utilizable y contaminante. Por este motivo, la planta generadora de biometano debe ubicarse en una localidad donde se realice una eficiente y considerable separación de residuos, esto se logra preferentemente en localidades que cuentan con una planta de reciclaje para tal fin.

Argentina cuenta aproximadamente con un total de 8,3% de municipios con plantas de reciclaje, siendo Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos las provincias más comprometidas en la gestión integral de RSU. Según datos obtenidos del informe anual del Observatorio del Reciclaje, avalado por Conicet, se obtiene una idea representativa del contexto actual de la gestión integral de RSU, enfocado en municipios con más de 8.000 habitantes de las provincias anteriormente mencionadas, como se puede visualizar en la Tabla 9.

Tabla 9: Relevamiento de gestión de RSU.

Provincias	Cantidad de municipios relevados	% de municipios con recolección diferenciada	% de municipios con planta de clasificación
Buenos Aires	101/101	15,80	44,55
Córdoba	24/55	45,80	70,80
Santa Fe	22/48	59,10	72,70
Entre Ríos	17/27	58,80	82,35

Fuente: (Observatorio del Reciclaje, 2019)

Por otro lado, un aspecto a analizar es la distribución de los gasoductos troncales, el cual se puede observar en Figura 8. De las provincias mencionadas anteriormente, el gasoducto troncal sistema norte y centro-oeste solo atraviesa a Córdoba de norte a sur y el sur de Santa Fe, mientras que Buenos Aires es atravesada por el gasoducto troncal sistema Sur y Entre Ríos solo cuenta con el gasoducto de exportación/ importación en la zona Norte.

En cuanto a la demanda de GNC, según datos obtenidos de ENARGAS, se puede observar en la Figura 20, que tres de las provincias mencionadas anteriormente conforman la mayor demanda de gas para GNC del país.



Figura 20: Porcentaje de gas entregado para GNC en el año 2020
Fuente: (ENARGAS, 2021)

Córdoba, con 135 estaciones de servicio de GNC o duales tiene mayor cantidad de bocas que cualquier otra ciudad. Esto hace que el mercado de gas natural comprimido sea sumamente competitivo y difícil para los demás actores de la actividad. (El Estacionero, 2020)

Si bien la provincia de Córdoba cuenta con una mayor cantidad de bocas de expendio, el porcentaje de vehículos habilitados (Figura 21) con respecto a la provincia de Buenos Aires es menor. Esto último se puede correlacionar con diversos factores, uno de ellos, la cantidad de habitantes.



Figura 21: Vehículos habilitados a GNC
Fuente: (ENARGAS, 2021)

En Argentina, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe se encuentran adheridas a la Ley Nacional 26.093 “Régimen de promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles”, detallada en el capítulo anterior. Cabe destacar que la provincia de Santa Fe cuenta con un Programa Provincial de Uso Sustentable de Biocombustibles, en el cual incentiva el uso de biodiesel, bioetanol y biogás principalmente en la actividad agropecuaria, transporte de pasajeros, carga, obras públicas, entre otras. A su vez, la provincia de Córdoba sancionó una Ley Provincial 10.721 “Promoción y Desarrollo para la Producción y Consumo de Biocombustibles y Bioenergía”.

La distribución regional del consumo de fertilizantes en los cultivos extensivos⁴, en el año 2013 se concentró en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba (Figura 22).

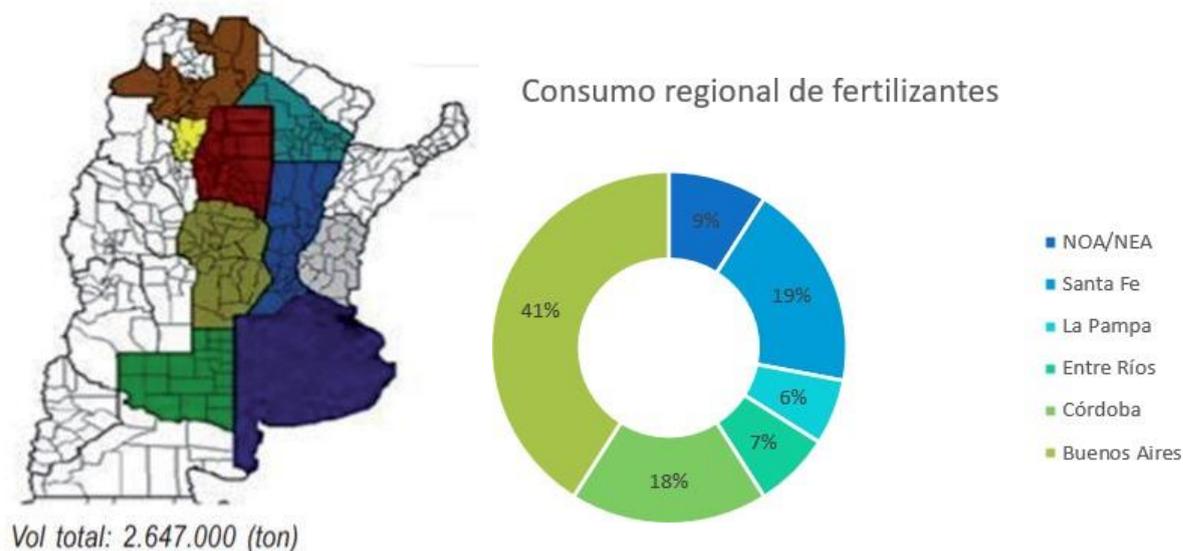


Figura 22: Distribución regional del uso de fertilizantes en cultivos extensivos en el año 2013.
Fuente: (Fertilizar Asociación Civil, 2013)

Además, en las provincias mencionadas se observó un aumento en la demanda de fertilizantes debido en primer lugar, a la expansión del área sembrada de los cultivos y, en segundo lugar, a un aumento en la dosis de fertilización, especialmente de los fertilizantes compuestos por nitrógeno y azufre. (El Litoral, 2020)

Con el fin de elegir una provincia para instalar la fábrica, se logró realizar un análisis final donde se puede observar que, en cuanto a la gestión integral de RSU, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, forman parte de las provincias que presentan planes más eficientes, siendo un aspecto de relevancia ya que permite contar con una adecuada materia prima para la producción de biometano comprimido.

Por otro lado, considerando la distribución del producto final, Córdoba presenta la red de gasoductos más extensa comparada con las demás provincias mencionadas. Además, en cuanto a la demanda de GNC y vehículos habilitados para su uso, Buenos Aires se ubica en primer lugar, seguido de la provincia de Córdoba y, en tercer lugar, Santa Fe. Sin embargo, Córdoba cuenta con la mayor cantidad de estaciones de GNC, lo cual resulta beneficioso para la comercialización de este.

Otro aspecto considerado es el incentivo a la producción de biocombustibles por parte del gobierno, siendo Córdoba una de las provincias que cuenta con una ley provincial. Por último, con respecto a la comercialización de biofertilizantes, las provincias con mayor actividad agronómica, Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba se ubican por encima del resto. En base al análisis de los factores mencionados anteriormente, se puede concluir que la provincia de Córdoba resulta ser una opción viable y atractiva para la instalación de la planta de biometano comprimido. Es por ello por lo que se prosigue a la elección de una localidad en el interior de la misma para tal fin.

⁴ Cultivos extensivos: cultivos de trigo, maíz, soja, girasol y sorgo

4.2. Localización puntual de la planta

Más de 30 municipios y comunas cordobesas están dando sus primeros pasos en proyectos de recuperación y venta de basura para reciclado.

Algunos municipios están, además, avanzando en la recolección diferenciada, por la que sus vecinos sacan la basura en forma separada: orgánica e inorgánica., práctica que facilita la clasificación para el reciclado. Aunque ninguno logra llegar a que el 100% de los vecinos saque a la calle los residuos ya separados, son varios los que ya han superado el 50 por ciento de adhesión en pocos años. Mas allá de esto sigue habiendo localidades, que recolectan sin diferenciación, pero separan lo reciclable en sus predios de tratamiento (interior, 2012).

Entre las localidades se encuentran, Las Varillas, en el departamento San Justo, la misma inició la recolección diferenciada hace 13 años, de forma voluntaria. También tenemos Villa Dolores, cabecera del departamento San Javier, el cual supera en gran cantidad el volumen de reciclaje que la localidad anterior. Además, se cuenta con Jesús María, en el departamento Colón, la misma no tiene casi recolección diferenciada, pero, en el basural, una cooperativa de trabajo realiza la separación.

En cuanto a la ciudad de Villa María, departamento de San Martín, el porcentaje de reciclaje de los residuos totales que genera la ciudad es mínimo en comparación a otras localidades, pero actualmente, comenzó una nueva campaña de separación de residuos cuyo objetivo es reforzar el Programa de Recolección Diferenciada y además comenzaron con la obra del Centro de Gestión Ambiental, logrando reciclar la mayoría de los residuos sólidos.

Otra de las localidades más importantes en cuanto a gestión integral de residuos sólidos orgánicos, es Justiniano Posse, en el departamento Unión, la misma tiene toda su área urbana recolección diferenciada. Más del 70 % de los habitantes se compromete con el proyecto, el municipio produce compost con los residuos orgánicos y se lo regala a los vecinos. Los plásticos, vidrios y metales, los comercializa para financiar parte del sistema.

Al realizar una revisión de las diferentes plantas que operan en Córdoba y se tomó la decisión de analizar el proyecto sobre una existente en la localidad de Justiniano Posse. La misma posee un Plan de Gestión Integral de RSU desde el año 2009, logrando una óptima disposición de residuos mediante la implementación de una planta de reciclaje en el año 2019. Logrando, actualmente, que el 70% de la población separe los desechos en sus hogares. Es un dato relevante ya que la mayoría de los pueblos y ciudades de Córdoba mantiene modelos de gestión incorrectos de sus residuos urbanos ya que, son fuente de contaminación y de riesgo sanitario. Según datos oficiales, más de 600 localidades aún destinan sus desechos a antiguos basurales a cielo abierto, sin tratamiento alguno. La planta está diseñada para tratar los residuos que generen 30.000 habitantes, aproximadamente el triple de los que hoy cuenta Justiniano Posse, proyectando el crecimiento de la población.

Al analizar los planos de la planta, se decide que la línea de producción de biometano se puede instalar sobre el mismo terreno que la planta separadora, y que no es necesaria la compra de un lote aledaño para este fin. El mismo tiene una superficie de 35.000 m², y teniendo en cuenta la construcción actual, aún se dispone de espacio suficiente para los equipos del proceso de biometano comprimido. Uno de los factores, y quizás el más importante, que tuvo esta selección fue la amplia información sobre cada detalle de la planta, lo que permitió un preciso y completo conocimiento para la realización de los balances de masa, de energía, ubicación de equipos, terreno disponible para el equipamiento

de la producción de biometano, así como la distribución de las líneas de gas natural. A continuación, se detallan otros factores a analizar para asegurar la correcta selección:

- Disponibilidad de materias primas: generada por la población, principalmente de Justiniano Posse y localidades vecinas comprometidas con la separación integral de RSU.
- Disponibilidad de servicios generales: cuenta con agua potable, red eléctrica y gas natural.
- Cercanía al consumidor: el producto principal se podría comercializar a través de gasoductos con estaciones de GNC, como la que existe en la localidad vecina de Monte Buey, además de la que se encuentra proyectada para la localidad de Justiniano Posse. Así mismo, en la zona existen grandes áreas destinadas a la producción de cereales y oleaginosas (cebada, trigo, maíz, soja y girasol), con lo cual, dadas las características del digestato, éste podría comercializarse como un biofertilizante para los suelos de estos campos, ya que en su composición hay tanto nitrógeno como fósforo disponible.
- Disponibilidad de mano de obra: más allá de situar la planta de biometano en cercanías de la planta separadora, es conocido que se deberá contar con nuevo personal. Por lo tanto, es provechoso analizar el recurso humano con que cuenta la zona, para ver si se adapta a los requerimientos necesarios para la línea de producción de biometano.
- Un punto a tener en cuenta en este factor que se analiza es la oferta educativa de la zona, ya que existen tareas para las que se debe contar con personal capacitado. Cabe destacar que la zona cuenta con una amplia y accesible oferta de formación profesional dirigida a toda la población.
- Además, la región que rodea a Justiniano Posse cuenta con rutas provinciales pavimentadas y con un eficiente servicio de traslado mediante colectivos hacia la localidad.
- Infraestructura existente: se analizó el terreno disponible y las instalaciones que resultan de utilidad; y se concluyó que es apto para la construcción de la planta de biometano.
- Impuestos: La provincia de Córdoba a través de la ley N.º 5.319 “Ley de Promoción y Desarrollo Industrial” tiene como principal objetivo Promover el desarrollo industrial de la provincia a través del otorgamiento de beneficios impositivos a las empresas. Las empresas promocionadas reciben exenciones impositivas en ingresos brutos, inmobiliario, sellos.

4.3. Estación de tratamientos de RSU

El Municipio de la localidad de Justiniano Posse, pertenece al departamento Unión, ubicado hacia el Sureste de la provincia de Córdoba. Tiene una superficie de 11.182 km² y 8.499 habitantes (CENSO 2010). se encuentra en latitud 32°38'00"S y longitud 62°46'00"O. (Ministerio del Interior, Obras públicas y Vivienda, 2017)

La localidad se encuentra a 36 km al sur de la Ruta Nacional Ni 9 en el punto en que esta pasa por la ciudad cabecera del Departamento (Bell Ville), uniéndose por ella a la Ciudad de Córdoba Capital, Rosario y Buenos Aires. Además, dista a 93 km de la Ruta Nacional Ni 8 que la conecta con la Ciudad de Río Cuarto (Sur de Córdoba) y con Buenos Aires. Las Rutas Provinciales N°2, N° 3, N° 6 y N°11 la rodean y afianzan su polarización en la zona central del Departamento Unión. Al estar ubicada en una intersección de dos rutas (RP n° 6 y RP n°3) le otorga a la localidad beneficios en costos y tiempos para el traslado de bienes y la producción local. (Ministerio del Interior, Obras públicas y Vivienda, 2017)

La planta de tratamiento de RSU se encuentra sobre la ruta provincial N°6, en latitud 32°53'39.7"S y longitud 62°38'53.2"W. Se puede visualizar en la Figura 24, los diferentes sectores en los que se divide el terreno.



Figura 23. Provincia de Córdoba

Fuente: (Cooperativa Agropecuaria "Unión" de Justiniano Posse Limitada, 2011)



Figura 24: Localización de la planta de separación de RSU.

Fuente (Ministerio del Interior, Obras públicas y Vivienda, 2017)

Se decide ubicar la planta de biometano en el espacio sin edificar, remarcado con bordo en la Figura 24. Además, se debe considerar que el área de compostaje ya no será necesaria, por lo que se encuentra disponible para ser utilizada, conformando un espacio total útil para la construcción de la planta de 30.000 m². La misma cuenta con los siguientes servicios básicos:

- Drenaje Pluvial
- Biodigestor para aguas cloacales
- Alumbrado Público
- Espacios verdes
- Red de Gas

- Red Eléctrica
- Agua Potable

Además, es importante analizar la ubicación de la planta con respecto a la población, ya que se pueden generar olores indeseados. Con respecto a este aspecto, la planta de tratamiento se encuentra a 2 km hacia el este de la localidad y los vientos predominantes generalmente provienen desde el norte, mientras que ocasionalmente desde el sur. Por este motivo, se considera adecuada en relación a la contaminación odorífera.

5. Capacidad de producción

Se considera de gran importancia en este proyecto la correcta elección de la capacidad de la planta, ya que un sobredimensionamiento o una insuficiencia de este, puede resultar perjudicial para el funcionamiento de la planta.

Con este objetivo, es importante tener en cuenta no sólo la dimensión del mercado, sino que, debe complementarse evaluando la tecnología del proceso productivo, la disponibilidad de insumos, la localización y el financiamiento del proyecto, entre otros factores. Además, es necesario contar con una perspectiva a futuro que permita poder hacer frente a las continuas variaciones del mercado, tanto para la gestión de RSU como para la demanda de GNC.

En el presente proyecto, la capacidad está limitada por la cantidad de residuos orgánicos provenientes de pueblos involucrados con la separación integral de RSU, que se comprometen a trasladar la FORSU hacia la planta de biometano para su correcto tratamiento. Las localidades vecinas, Monte Buey y General Ordoñez, ambas en un radio de 20 km de Justiniano Posse se encuentran en la búsqueda de una correcta disposición final para sus residuos, por lo que se decide incorporarlas en el presente proyecto. De esta manera se logra obtener un total de 13.300 kg/día de materia prima proveniente de las 3 localidades.

Se realizó una proyección del aumento poblacional de las localidades en base al crecimiento de estas en años anteriores (Figura 25, Figura 26, Figura 27).

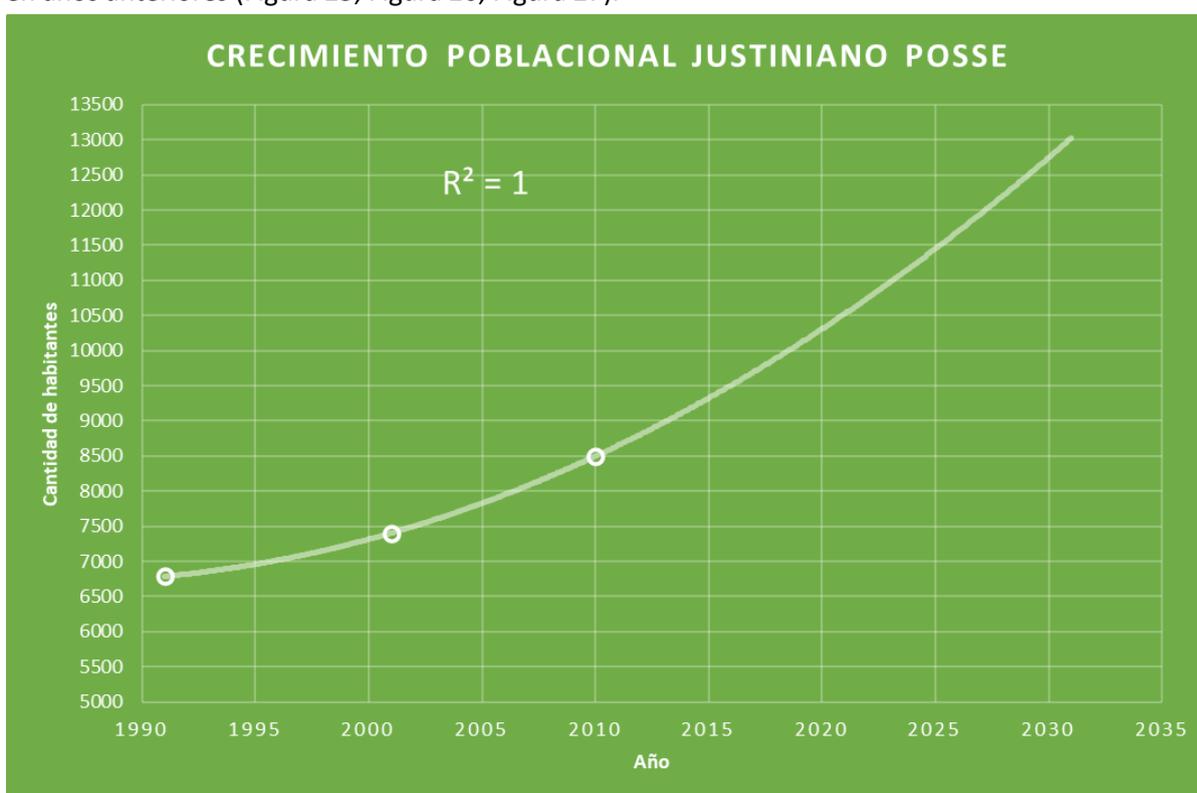


Figura 25. Crecimiento poblacional Justiniano Posse
Fuente: Elaboración propia

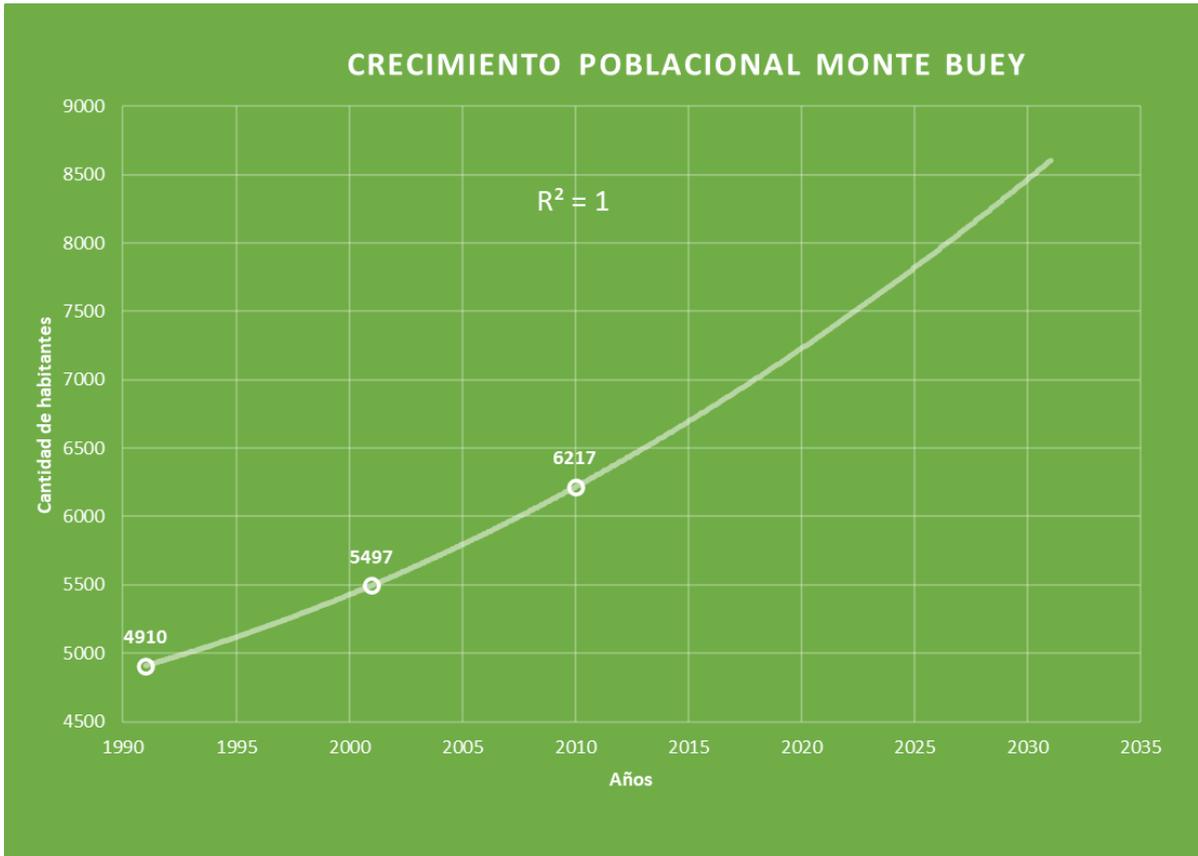


Figura 26. Crecimiento poblacional Monte Buey
Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Crecimiento poblacional Ordoñez
Fuente: Elaboración propia

Además, según el Banco mundial⁵, se proyecta que la cantidad de desechos a nivel mundial aumenten un 70% en los próximos 30 años si no se toman medidas urgentes, debido a la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico. Por ende, se podría suponer un aumento del 20 % en los próximos 10 años, si no se toma conciencia sobre el problema actual.

En base a esto se puede estimar para el año 2031 una población 25.900 con un total de FORSU de 18.840 kg/día. Por este motivo se decide trabajar con una capacidad de 20.000 kg/día de materia prima, el cual contempla un margen de seguridad. (Anexo 1)

En base a esta disponibilidad de materia prima proyectada, y una producción de 89,14 m³ por tonelada de FORSU, se obtiene una planta con capacidad de producir 791.816,40 m³ de biometano por año, así mismo, comenzando con una capacidad de proceso de 13.300 kg/día, este valor se incrementa a lo largo de los años debido al crecimiento de la población que conlleva a una mayor generación de FORSU.

⁵“Convivir con basura: el futuro que no queremos”

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/06/convivir-con-basura-el-futuro-que-no-queremos>, Obtenido el 19/08/2021

6. Procesos de producción y selección del proceso

6.1 Etapas para la obtención de biogás

La producción de biogás es un proceso complejo que requiere de la acción coordinada de un grupo de microorganismos especializados en la degradación de una amplia variedad de sustratos orgánicos. La descomposición de estos residuos en el ambiente natural o en reactores especializados, bajo estado anaerobio, genera condiciones imprescindibles para el proceso. Dado que la solubilidad del oxígeno en agua es baja, cuando los sedimentos de los cuerpos de aguas naturales, las lagunas de tratamiento o los lixiviados de los rellenos sanitarios tienen elevados niveles de materia orgánica, su descomposición microbiana genera biogás, que contiene metano, químicamente comparable al gas natural que se obtiene en la explotación de yacimientos de combustibles fósiles. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019)

Para controlar y lograr una eficiente digestión anaeróbica de la materia orgánica y producir biogás a escala industrial se utilizan biodigestores, fermentadores o también denominados biorreactores, de los que existen muy variados modelos, con distintas tecnologías, en función del volumen inicial de biomasa, el rendimiento esperado, el uso del producto final, etc. Los mismos se diseñan para maximizar la eficiencia de conversión de sustratos en energía y obtener subproductos con valor agregado, como por ejemplo biofertilizantes. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019)

El proceso global puede ser dividido en tres etapas principales, aunque debe entenderse que en los biodigestores las reacciones ocurren simultáneamente.

Se consideran 3 procesos consecutivos, que constituyen cuatro etapas principales:

- Etapa hidrolítica
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

6.1.1 Hidrólisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, y así lograr atravesar la pared celular. (Ministerio de Energía de Chile, 2011).

En esta etapa, las moléculas insolubles que forman la materia orgánica, como las proteínas, carbohidratos y lípidos, se hidrolizan por la acción de enzimas producidas por los microorganismos fermentativos y acidogénicos. Estas enzimas transforman dichas moléculas complejas en moléculas solubles que pueden ser digeridas por los microorganismos, como los aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Entre ellas, las encargadas de transformar las proteínas en aminoácidos se denominan proteasas, las amilasas se ocupan de degradar los carbohidratos en azúcares, mientras que, las lipasas transforman lípidos en ácidos grasos.

Diversos microorganismos son los responsables del proceso de hidrólisis. Entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propioni- bacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera y Bifidobacterium. (Sallo, Darwin, 2014)

Cuando se trata de residuos con alto contenido de materia seca, como es el caso de los RSU, la etapa de hidrólisis se convierte en la limitante dentro del proceso, debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y otros hidratos de carbono. (Ministerio de Energía de Chile, 2011)

Además, la tasa de hidrólisis depende de la temperatura del proceso (aumenta con ella), del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas (aumenta cuando el mismo disminuye), del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de dicha etapa. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo efecto principal es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, lo que supone un beneficio para el proceso general, dado a que suele ser la etapa la etapa limitante, produciendo tiempos de retención menores y disminuciones en las dimensiones de reactor. (Ministerio de Energía de Chile, 2011)

6.1.2 Acidogénesis y acetogénesis

En la etapa de acidogénesis se convierten los productos intermedios de la fase anterior en ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono, y otros productos intermedios, como etanol y algunos ácidos (propiónico, butírico, valérico). La importancia de esta etapa no sólo radica en el hecho de que se produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema, para que se logre un ambiente estrictamente anaerobio. (Ministerio de Energía de Chile, 2011)

Debido a que no todos los productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, algunos deben ser transformados en productos más sencillos, esto ocurre en la etapa de acetogénesis, donde se transforma el etanol y los ácidos grasos volátiles en acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno.

Estas dos fases se llevan a cabo por dos grupos de bacterias, primeramente, por las hidrolíticas-acidogénicas, y luego mediante las acetogénicas. Son bacterias anaerobias facultativas (se adaptan a la presencia de oxígeno) y anaerobias estrictas (el oxígeno resulta tóxico en mínimas cantidades), por lo que el consumo del oxígeno molecular del aire produce el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias estrictas.

El ácido acético o acetato es producido por dos mecanismos diferentes: acetogénesis por hidrogenación, en la cual se produce acetato como producto final de la reducción de hidrógeno y dióxido de carbono, mientras que en la acetogénesis por deshidrogenación, las hexosas ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) se convierten exclusivamente en acetato de manera anaeróbica. Las reacciones de deshidrogenación acetogénica dependen de la concentración de hidrógeno existente, por lo tanto, para que la acetogénesis tenga lugar en los digestores anaerobios, es necesario que el hidrógeno generado en la misma sea utilizado y consumido con igual velocidad a la que se produce por medio de las bacterias metanogénicas y homoacetogénicas.

Dentro de las bacterias acetogénicas, existen dos tipos, las acetogénicas propiamente dichas, que son aquellas que emplean los ácidos orgánicos como sustrato para producir ácido acético y las homoacetogénicas, un tipo especial de bacterias capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o utilizando el hidrógeno y dióxido de carbono para la producción de ácido acéticos. Al contrario de las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su

metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Dentro del primer grupo, los microorganismos anaerobios facultativos más empleados son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*, en tanto que las bacterias homoacetogénicas, anaerobias estrictas, que más se utilizan son *Acetobacterium woodii*, *Clostridium formicoaceticum* y *Clostridium aceticum*. (L. Corrales, D. Antolinez Romero, J. Bohórquez Masías, A. Corredor Vargas, 2015)

En estas etapas hay un rápido crecimiento bacteriano, sin producir una reducción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) del sustrato, ya que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más cortas, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente. Debido a esto resulta fundamental controlar este proceso para evitar que el descenso de pH (acidificación) del medio interfiera con la acción del consorcio microbiano.

Esta reacción demanda energía para ser realizada, lo cual es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. (L. Corrales, D. Antolinez Romero, J. Bohórquez Masías, A. Corredor Vargas, 2015)

Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

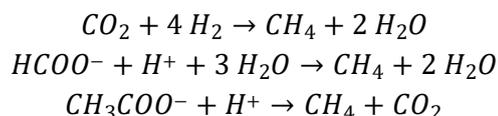
6.1.3 Metanogénesis

En esta última etapa, las bacterias metanogénicas transforman el acetato, metanol, H_2/CO_2 , y algunas metilaminas en metano. Las bacterias metanogénicas son estrictamente anaerobias y se clasifican dentro del dominio Archae. Entre ellas se encuentran: *Bacteroides sp*, *Clostridium sp*, *Bifidobacterium sp*, *Sphaerophorus sp*, *Fusobacterium sp*, *Veillonella sp*, *Peptococcus sp*, *Desulfovibrio sp*. y otras como: *Methanobacterium sp*, *Methanococcus sp*, *Methanospirillum sp*, *Methanobrevibacter sp* y *Methanomicrobium sp*. (L. Corrales, D. Antolinez Romero, J. Bohórquez Masías, A. Corredor Vargas, 2015)

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan. Las acetoclásticas transforman el acetato en metano, a través de dos géneros, *Methanosarcina* y *Methanotrix*, así mismo producen el 70% del metano total. Mientras que las hidrogenotróficas producen el restante 30% de metano a partir de dióxido de carbono, hidrógeno y ácido fórmico.

Estas últimas bacterias son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de la reacción, debido a que una acumulación de hidrógeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica. Por otro lado, las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las de la fase anterior, por lo que limitan el proceso de degradación anaerobia y, por ende, condicionan el tiempo de retención del reactor durante la fase de diseño, así como la temperatura de trabajo.

Las reacciones involucradas más importantes se expresan a continuación, aunque también se puede producir a partir de diversos sustratos con grupos metilos.



En la Figura 28, se observa una descripción de las etapas del proceso de degradación.

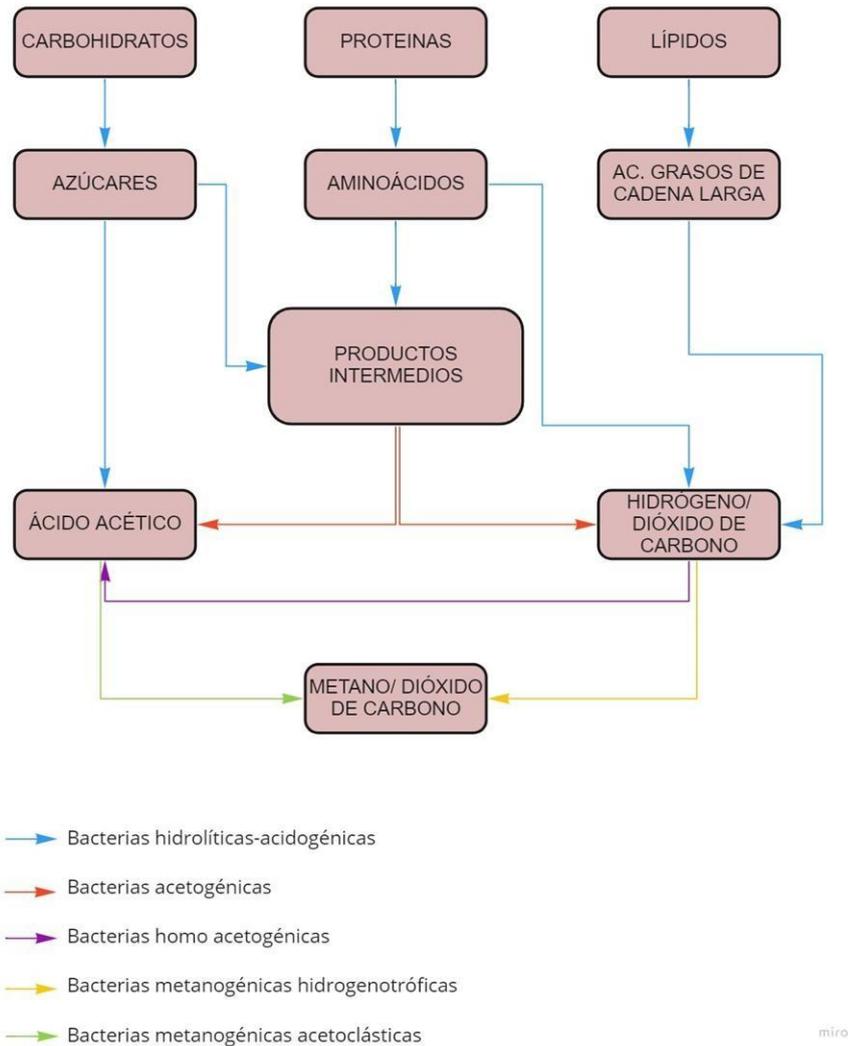


Figura 28. Etapas del proceso de degradación.
Fuente: Elaboración propia

Además de metano y dióxido de carbono, existen también otros compuestos en muy pequeña cantidad que forman parte del biogás, como amoníaco, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos halogenados y ácido sulfhídrico. Este último es un gas altamente tóxico, responsable del olor fuerte y desagradable que se percibe en los ambientes naturales donde se genera biogás por la misma degradación. La composición de estos compuestos en el biogás, así como del metano y dióxido de carbono, depende del tipo de materia orgánica, del proceso empleado para obtener biogás y de factores ambientales (pH, temperatura, relación C/N, etc.).

Los principales factores de los que depende el proceso de digestión anaerobia se detallan a continuación:

Composición del sustrato

El porcentaje de metano de la corriente gaseosa obtenida mediante la digestión anaerobia varía según la composición del sustrato, principalmente por la presencia de las moléculas orgánicas como las proteínas, lípidos y carbohidratos. Es posible cuantificar el metano que se puede generar a partir de un análisis de sólidos volátiles presentes en la materia orgánica.

Para una fracción estándar de RSU con aproximadamente el 60% de SV, se estima una cantidad de metano producido entre 550 y 650 m³/t SV, con un porcentaje de este del 60% en la mezcla de gases finales.

pH

Es un factor determinante para el crecimiento o la inhibición de ciertas bacterias. El rango óptimo varía desde 6,6 a 7,7, evitando valores inferiores a 6,2 debido a que las bacterias metanogénicas se inhiben. Por el contrario, los microorganismos pertenecientes a las etapas de hidrólisis y acidogénesis pueden convivir en un sustrato con pH inferior, siendo los ácidos volátiles los responsables de generar la acidez en el medio. Por este motivo, es muy importante el equilibrio del carbono orgánico (dióxido de carbono, bicarbonato) debido a que define la capacidad amortiguadora del sustrato. Por otro lado, al aumentar el pH, disminuyen los ácidos volátiles y por ende también se inhibe el proceso.

En la tabla 5, se puede observar que el pH de FORSU es 7,62; por lo que debe controlarse para que no se eleve a valores demasiados alcalinos durante el proceso.

Nutrientes

Los más importantes para la digestión anaerobia son: carbono, nitrógeno y fósforo; siendo el rango óptimo de C/N/P, 150/5/1 respectivamente. Además, la relación C/N deberá ser mayor a 15/1 y menor a 45/1, debido a que una baja relación inhibe la etapa metanogénica como consecuencia de la producción de amonio, mientras que, una alta proporción, produce una lenta degradación de la materia orgánica por falta de nitrógeno (Burgos, 2013)

Las bacterias usan carbono como fuente de energía y nitrógeno para la síntesis de proteínas. Además, para esta última se necesitan otros elementos en menores cantidades, como el fósforo y el azufre. Las formas de carbono más fácilmente asimilables por los microorganismos son a través de azúcares y grasas; mientras que el nitrógeno se encuentra principalmente en forma orgánica de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para ser utilizado.

Otros tipos de nutrientes serán necesarios en pequeñas cantidades, como sulfuro, potasio, calcio, magnesio y elementos en traza como hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel, etc. Los sustratos normalmente contienen una cantidad suficiente de estos elementos; sin embargo, altas concentraciones de ellos producen efectos inhibidores sobre el proceso.

La relación C/N para FORSU⁶ es de 27,62 lo que permite trabajar satisfactoriamente con este sustrato sin necesidad de mezclarlo con otro.

Temperatura

Junto al pH, la temperatura es uno de los factores más influyentes en el crecimiento bacteriológico, ya que, al ser un proceso sin producción de energía, el sustrato va a tomar la temperatura ambiente para su desarrollo. Dependiendo del valor de ella en el interior del digestor se pueden distinguir tres regímenes de trabajo:

- *Psicrofílico*: donde la temperatura nunca excede los 20 °C, la actividad bacteriana es baja y el tiempo de digestión puede alcanzar los 100 días. Si la temperatura del interior del digestor

⁶ FORSU: Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

está por debajo de los 15 °C, la producción de gas será tan baja que la planta no resultará económicamente factible.

- *Mesófilo*: la temperatura va desde los 20°C hasta los 40 °C, la actividad bacteriana es media y el tiempo de digestión está comprendido entre los 20 y los 60 días.
- *Termófilo*: el rango de temperatura va desde los 40°C hasta los 80 °C, la actividad bacteriana es alta y el tiempo de digestión se encuentra como máximo entre 10 y 15 días. A estas temperaturas se eliminan parte de los microorganismos patógenos, pero se corre el riesgo de que el proceso se vuelva inestable; por lo que requiere mayor control y seguimiento, principalmente si el sustrato tiene gran cantidad de nitrógeno.

La variación de temperatura debe ser mínima, dentro de cualquier rango que se elija debido a que un pequeño cambio en ella desequilibra las etapas del proceso biológico, aumentando rápidamente la concentración de ácidos volátiles, disminuyendo el pH, logrando reducir la producción de biogás. El grado de sensibilidad va a depender del rango de trabajo, volviéndose más sensible a mayores temperaturas.

Humedad

Puede limitar la etapa de hidrólisis debido a que las enzimas no pueden disolver los macronutrientes contenidos en la materia orgánica. Por esta razón, la homogeneización del sustrato durante el pretratamiento es de gran importancia.

El rango óptimo de sólidos totales se encuentra entre 10 y 40%. En función del contenido de los mismos, se presentan tres tipos de digestores:

- Bajo: 10%
- Medio: 15-20%.
- Alto: 20-40%.

En la tabla 5 se observa que el contenido total de sólidos en la FORSU es de 30%.

Tóxicos

Son sustancias que a partir de una cierta concentración inhiben las bacterias, reduciendo la velocidad de reacción, y llegando a interrumpir la digestión en concentraciones mayores. Algunos de ellos son:

- Oxígeno
- Metales
- Calcio, magnesio, potasio, sodio.
- Amonio
- Cianuros, sulfatos, cromatos, fluoruros.

Tiempo de retención

Depende de la temperatura de operación, la intensidad y el tipo de mezclado, como así también de la tecnología a utilizar. Es de suma importancia tener en cuenta el tiempo de retención hidráulico como el de sólidos, y así también la relación entre ambos. El primero indica la permanencia del fluido dentro del reactor mientras que el segundo, la de los sólidos.

6.2 Tipos de procesos anaerobios para los residuos sólidos orgánicos

Los sistemas de digestión anaerobia para los residuos sólidos orgánicos suelen diferenciarse en:

- El tipo de carga del sustrato: continuo (una o varias etapas) o discontinuo
- La concentración de sólidos del sustrato (vía húmeda o seca)
- El tipo de reactor: de mezcla completa o de flujo pistón
- La agitación: mecánica, neumática o sin agitación
- La recirculación del efluente: fracción de recirculación o ausencia de la misma.
- La temperatura: psicrófilos, mesófilos o termófilos
(Burgos, 2013)

6.2.1 Procesos continuos y discontinuos

Se utilizan generalmente dos tipos de procesos para llevar a cabo la digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos: los continuos y los discontinuos. En los sistemas discontinuos, los reactores se llenan una vez con sustrato y se cierran durante todo el tiempo de retención para finalmente abrir y vaciar la carga del reactor. En los sistemas continuos, en cambio, el sustrato se introduce constantemente en el reactor, al mismo tiempo va egresando una cantidad de producto igual a la de materia prima introducida. (Burgos, 2013)

Los reactores discontinuos son útiles porque pueden llevar a cabo una rápida digestión con un equipo económico y simple, además se logra evaluar la velocidad de digestión fácilmente, y se utilizan para conocer si un material es apto para producir biogás o no, cuánto produce y en qué tiempo, con lo que permiten determinar potenciales de producción de biogás de diferentes sustratos. Sin embargo, estos sistemas también tienen alguna limitación, entre ellas una gran fluctuación tanto en la producción de gas como en su calidad y la pérdida del mismo en el vaciado del reactor. Para conseguir una producción de biogás cercana a la continuidad, deben combinarse varios reactores discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo. Debido a esto, normalmente son aplicados para investigación en pequeñas escalas. (Burgos, 2013)

6.2.2 Procesos de etapa única o multietapas

Como se ha visto anteriormente, la biometanización de los residuos sólidos orgánicos se lleva a cabo gracias a una serie de procesos biológicos, que pueden separarse básicamente en una primera etapa en la que sucede la hidrólisis y la acidificación, y una segunda en la que el acetato, hidrógeno y dióxido de carbono se transforman en metano. En los sistemas de una etapa, todos los procesos biológicos se llevan a cabo simultáneamente en un único reactor. El mayor inconveniente de este tipo de sistemas es que todos los procesos trabajan bajo las mismas condiciones de operación a pesar de que las bacterias involucradas en dichos procesos tengan tasas de crecimiento y valores óptimos a pH diferentes. Esa es la razón por la que los sistemas de una etapa fallan más que las de dos o más etapas, ya que, como se ha comentado anteriormente, un desequilibrio entre las tasas de producción de ácido y de metano puede causar un descenso del pH con el consiguiente fallo del biodigestor. Los sistemas de dos o más etapas permiten que los procesos biológicos se lleven a cabo secuencialmente en al menos dos reactores. Los sistemas típicos consisten en un primer reactor en donde se lleva a cabo la hidrólisis y la acidificación, y un segundo reactor en donde sucede la metanogénesis gracias al producto obtenido del primer reactor. Debido a la posibilidad de un control más preciso en las diferentes fases del proceso biológico estos sistemas son capaces de obtener una producción de metano y una

reducción de sólidos similar a los sistemas de una etapa con un tiempo de retención hidráulico menor. Además, muchos de los tóxicos son eliminados en la primera etapa. Sin embargo, la mayor ventaja de estos sistemas es la mejor estabilidad biológica que proporciona cuando se tratan residuos que causan un funcionamiento inestable en los sistemas de una etapa. Por otro lado, el funcionamiento de dos o más reactores en serie significa una mayor complejidad operativa para mantener condiciones óptimas en todos los reactores, lo que, implica costos de inversiones mayores, la necesidad de equipo adicional (bombas, reactores, etc.) y el requerimiento de un área mayor para la instalación de la unidad. Un punto crítico a tener en cuenta es la interdependencia de los reactores, porque las fallas en uno de ellos pueden causar la desestabilización de todo el sistema de metanización.

Actualmente, la mayoría de los sistemas continuos y semicontinuos utilizan tecnologías de una sola etapa. La capacidad instalada de unidades monoetapa representa el 93% de la capacidad total instalada para el tratamiento de residuos orgánicos. La preferencia por las tecnologías de una sola etapa se debe a su diseño más simple, mayor solidez operativa y menores costos de inversión.

6.2.3 Procesos de vía húmeda y seca

Los procesos de digestión anaerobia pueden considerarse vía húmeda o seca dependiendo de la concentración de sólidos en el residuo de alimentación. Los sistemas húmedos son aquellos en los que el valor de la materia seca es un 15 % o menos, mientras que los sistemas secos tienen entre 20% y 40% de materia seca, considerándose los que se encuentran entre ambos valores de sistemas semisecos. En los procesos de digestión húmeda, se debe acondicionar al residuo sólido para que el mismo presente una humedad óptima. Esto se logra al añadir agua al proceso, recircular una parte del efluente líquido o mediante la digestión con otro residuo líquido. La aplicación de estos sistemas tiene diversas ventajas como la dilución de sustancias inhibitoras debido al agua utilizada en el proceso y el requerimiento de equipos mecánicos menos sofisticados. También tiene desventajas como el complicado pretratamiento y el elevado consumo de agua y energía para el calentamiento. El sistema de digestión seca se utiliza normalmente con residuos sólidos municipales o vegetales. Debido a su viscosidad, los residuos fermentados tienen un flujo tipo pistón dentro del reactor, al contrario que en los sistemas húmedos, donde normalmente se emplean reactores de mezcla completa.

6.2.4 Tipo de reactor mezcla perfecta y flujo pistón

El sistema más común en la fermentación húmeda es el digestor continuo de mezcla perfecta, que opera en régimen estacionario y consiste en un tanque en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación adecuado, que puede ser mecánico (agitador de hélices o palas) o neumático (mediante la recirculación del biogás generado). Esta mecánica de funcionamiento no permite una alta concentración de bacterias en el interior del digestor y, por tanto, la producción de biogás por unidad de volumen del digestor es reducida. El tiempo de retención varía en función de la naturaleza del sustrato y de la temperatura, pero generalmente está comprendido entre 2 y 4 semanas. Este tipo de reactores generalmente se usa para el tratamiento de residuos ganaderos con un porcentaje de materia seca de 2%-10% y de FORSU con un 15%. Además, se emplean en el tratamiento de aguas residuales en plantas depuradoras.

Para la degradación de residuos orgánicos también se puede utilizar el reactor de flujo pistón, el cual consiste en un tubo longitudinal en el que el alimento recorre el digestor de un extremo al otro

manteniendo un flujo ordenado, sin mezcla, siguiendo el modelo de un pistón en un cilindro. Al igual que el digestor de mezcla perfecta, este sistema opera en régimen estacionario. Sin embargo, en este caso, las etapas anaeróbicas, como la hidrólisis y la metanogénesis, se llevan a cabo en secciones diferentes a lo largo de la longitud del tubo. No obstante, una de las dificultades de estos digestores es la falta de homogeneización en la sección transversal del flujo, lo que se puede solucionar mediante un sistema de agitación.

Un modo de operación intermedio consiste en recircular una fracción de lodos. En estos digestores, se realiza una decantación de la biomasa arrastrada por el efluente, para introducir a los microorganismos de nuevo en el interior del digestor, con lo que se consigue una mayor población microbiana activa, que posibilita una disminución del tiempo de retención y ayuda en el rendimiento de la digestión. Es útil cuando la cinética presenta un máximo, es decir, cuando la velocidad de reacción es máxima a una conversión intermedia. Esto sucede para fermentaciones microbianas, reacciones adiabáticas exotérmicas y para reacciones autocatalíticas.

6.2.5 Temperatura de operación

La digestión anaeróbica se puede llevar a cabo en un amplio intervalo de temperaturas, pero dependiendo del tipo de bacterias que se utilicen, como se mencionó anteriormente, se pueden diferenciar tres intervalos diferentes.

La digestión termófila presenta ventajas significativas para las grandes instalaciones donde el volumen del material a digerir es considerable. Esto se debe a que trabajar a mayores temperaturas permite una mayor velocidad de degradación y, por lo tanto, menor tiempo de retención hidráulico, por lo que se disminuye el tamaño del reactor. Como desventajas principales se encuentran, el consumo energético que se necesita para la calefacción y la sensibilidad a pequeñas variaciones de temperaturas en el reactor, lo que causa una profunda desestabilización del proceso difícil de revertir. Además, el uso de estos reactores es más complejo que el de los mesofílicos y, por ende, es mayor el grado de dificultad de la puesta en marcha, ya que se necesita mucho tiempo para su estabilización. (Burgos, 2013)

El uso de la digestión termofílica se aconseja cuando existe riesgo de patógenos, además de que permite obtener digestatos que cumplen con las normas requeridas sobre el contenido de DQO de los efluentes, como así también estos se deshidratan más rápido debido a que egresan a alta temperatura. Pero esto no es siempre así, ya que dependiendo del sustrato con que se alimenta el biodigestor, muchas veces los digestatos tienen componentes indeseables al generarse en ambientes termofílicos (como exceso de amonio) que dificultan su secado y disposición final. La digestión mesofílica plantea un funcionamiento estable, tal vez menos rendidor y con un reactor más grande, con un costo energético mucho menor y una menor complejidad en la operación.

6.3 Elección de tipo de tecnología a emplear

El proceso a utilizar se basa en un reactor de una etapa, continuo, flujo pistón con recirculación, en seco y termófilo.

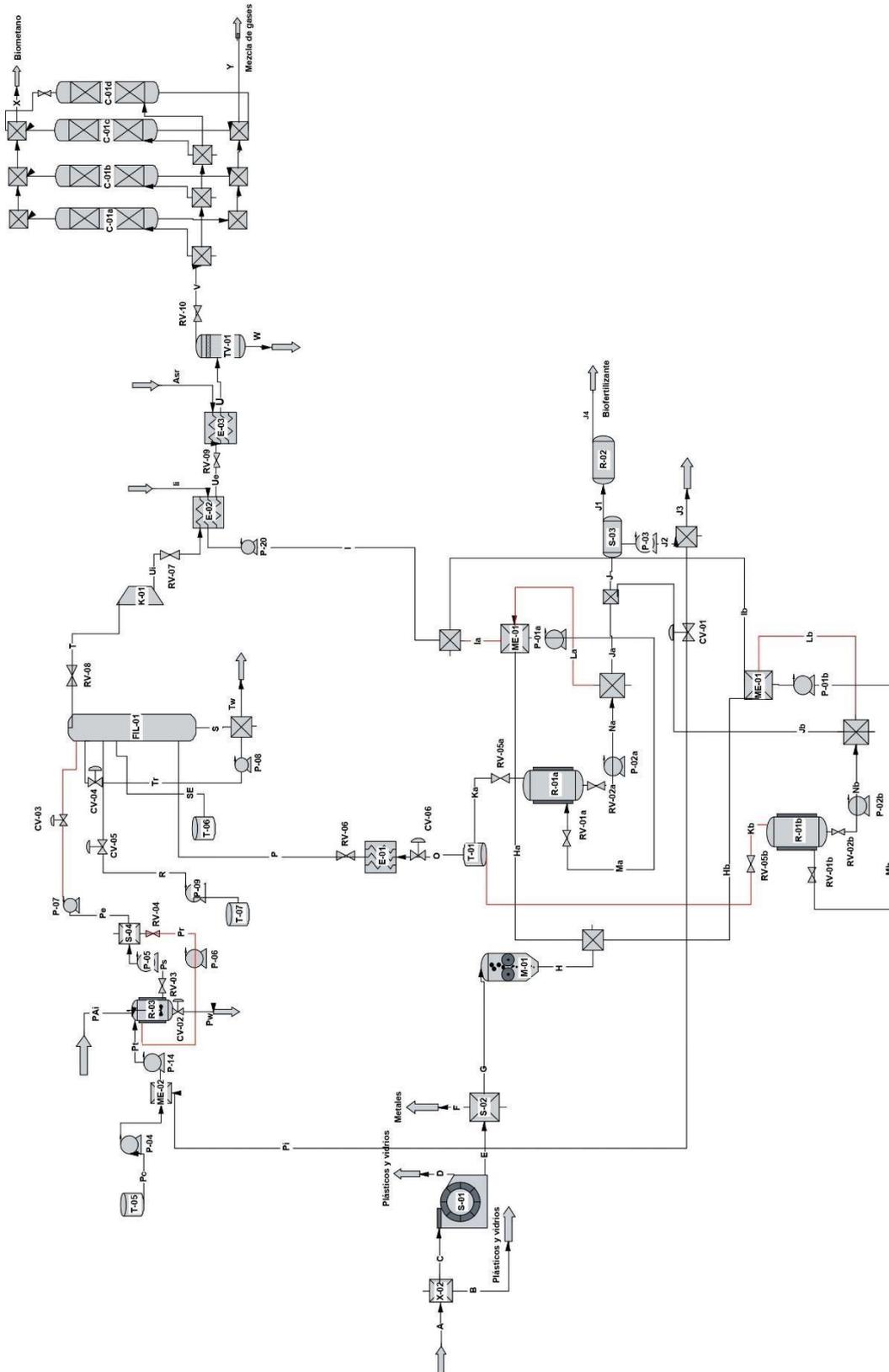


Figura 29. Diagrama de proceso
Fuente: Elaboración propia

6.3.1 Esquema del proceso de producción de biogás

En la Figura 29, a modo introductorio, se presenta un diagrama simplificado de los procesos implicados en el tratamiento de FORSU para la producción de Biometano comprimido y seguidamente se hace una descripción detallada de cada una de las etapas.

6.3.2 Almacenamiento y pre-tratamiento del sustrato

Recepción

La FORSU utilizada como materia prima proviene de la misma planta de reciclaje, por lo que solo deberá ser pesada antes de almacenarla en el lugar dispuesto, el cual debe ser techado y tener pisos impermeabilizados. El sitio de descarga tiene la capacidad de contener un volumen equivalente a dos días de producción, de manera de permitir un mínimo margen de operaciones en caso de avería del sistema de carga al reactor u otro contratiempo. No sería aconsejable realizar un mayor stock ya que el mismo sistema no permite aumentar la tasa de carga una vez restablecido el funcionamiento normal.

Separación de cuerpos extraños

Primeramente, se realiza una separación visual, en donde se extraen, vidrios y plásticos, de gran tamaño.

El sistema de separación de cuerpos extraños consiste en una zaranda vibratoria con una malla de 60 mm para la eliminación de restos de plástico y otros desechos, como vidrios, de tamaño superior al permitido. Antes de ingresar al molino es necesario que la materia pase por un separador magnético para eliminar los posibles restos de metal que puedan dañar el equipo. Luego, en el molino se disminuye el tamaño hasta obtener partículas de 1 a 2 mm, con la finalidad de incrementar la superficie específica del sustrato, y por lo tanto lograr una hidrólisis efectiva. Por último, se dirigen a la tolva de mezcla por medio de un tornillo, mientras que el descarte pasante se envía a un contenedor para su posterior disposición.

6.3.3 Biodigestión

Pretratamiento

Los sistemas de alimentación tienen la función de efectuar el traslado del sustrato desde el pre-tratamiento hacia el interior del digestor. El mismo requiere ser adaptado según las características del sustrato y del digestor, al igual que considerar el dosificado y mezclado del inóculo.

Es así que, la alimentación pre-tratada se dirige hacia un mezclador, en donde se le adiciona agua caliente hasta alcanzar una humedad de la alimentación fresca de 74%, mientras que la humedad total (considerando el reciclo) es del 85,58%, logrando además la temperatura óptima de trabajo, 50 °C. Allí se inocula al nuevo sustrato con una porción mayoritaria del lodo (digestato), recirculado desde la parte inferior del reactor en la etapa posterior. La mezcla resultante es trasladada hacia el interior del reactor. La pre-mezcla obtenida es fundamental para los reactores que no presentan sistemas de mezclado.

Reactor

El sistema propuesto para este caso tiene como núcleo un biorreactor seco continuo, de disposición vertical sin mezcla mecánica, con flujo pistón. Este tipo de configuración es usualmente utilizada cuando se trabaja con sustratos con un contenido de sólidos de 15% a 40%.

La alimentación se introduce por la parte inferior del reactor, mediante la circulación por cañerías internas del mismo hasta la parte superior, donde rebalsa logrando un flujo descendente por gravedad. El material digerido es evacuado por la parte cónica inferior del reactor, siendo una parte recirculada y utilizada como material de inoculación en una proporción de hasta 6:1 (material digerido: residuo fresco), mientras que el resto puede tratarse para producir biofertilizante.

El tiempo de retención hidráulica del reactor es de 21 días, mientras que el de sólidos es de 30 debido a la recirculación del digestato. Esto da como resultado que el cociente entre TRS^7/TRH^8 sea mayor a 1, lo que conlleva a no perder microorganismos de lento crecimiento, además de reducir el tamaño del reactor.

El digestato resultante posee un contenido de materia seca alrededor del 12% por lo que requerirá un procesamiento para su posterior utilización. El primer paso del tratamiento es la separación de fases, líquido-sólido, donde una fracción de la fase líquida obtenida es dirigida al proceso de nitrificación mientras que la restante es utilizada como fertilizantes y la sólida es trasladada a un sector de estabilización aeróbica para su posterior uso. El producto obtenido puede ser empleado como enmienda orgánica en espacios verdes. En la Figura 30 se esquematiza la distribución de las corrientes correspondientes al proceso de digestión anaeróbica.

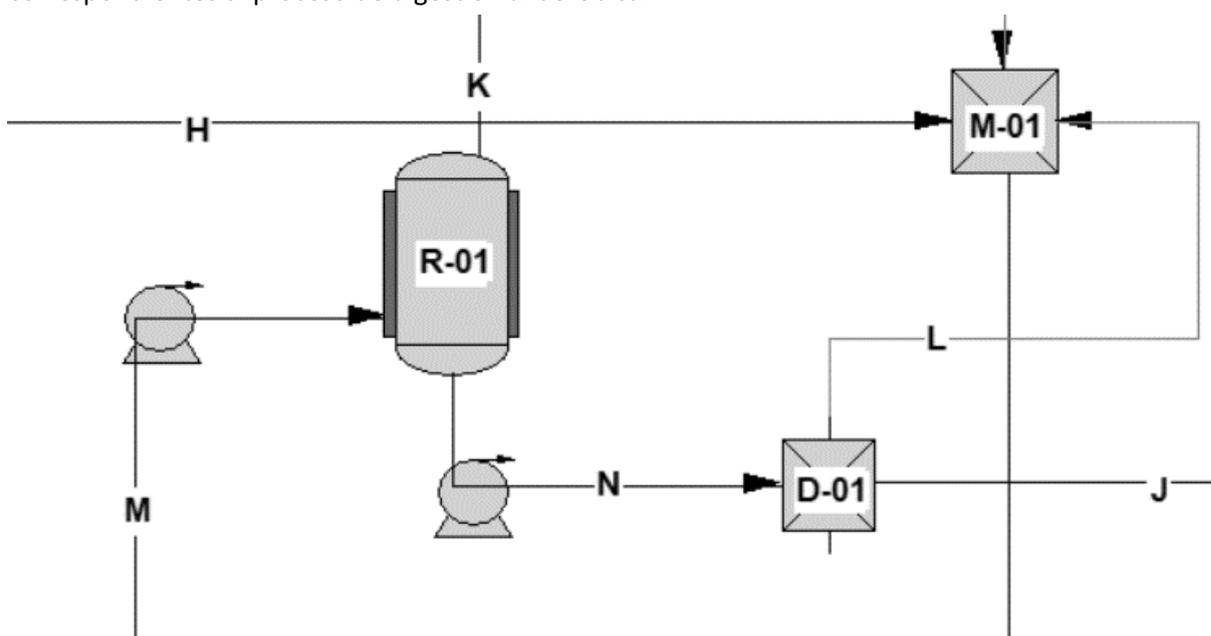


Figura 30. Proceso de digestión anaeróbica
Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento de biogás

Comprimir el biogás crudo para utilizarlo posteriormente no es eficiente; para que lo sea, sería necesario purificar el gas metano. Es por este motivo que para el almacenamiento del biogás a bajas presiones se utilizan gasómetros, cuya función es la de mantener una presión constante dentro del biodigestor y en la línea de consumo, equilibrando las fluctuaciones de la producción y los cambios de volumen.

⁷ TRS: Tiempo de retención de sólidos.

⁸ TRH Tiempo de retención Hidráulico.

Debe contar con un cierre de agua para que, en caso de que la presión se exceda, actúa liberando la sobrepresión. Además, se debe construir con un material impermeable a los gases, resistente a la presión, radiación UV, variaciones de temperatura y condiciones climáticas adversas (ej.: granizo).

Otra consideración para preservar la seguridad consiste en contar con un quemador de gases para eliminar los excesos y evitar que se pierdan en la atmósfera.

Usualmente, el volumen de almacenamiento es seleccionado en función al espacio y al presupuesto disponible. Muchas plantas de biogás funcionan con 2 – 3 horas de capacidad de almacenamiento, o incluso menos en el caso que el biogás se valorice para producir biometano.

Existen diferentes tipos de gasómetros, entre ellos se encuentra el de doble membrana, el cual se adapta a este proceso. El mismo está compuesto por una membrana exterior y una interior, de geotextiles de poliéster recubiertos con PVC: el material externo resiste el ataque de los rayos UV y cuenta con retardante de llama; el material interno además es resistente al ataque químico e impermeable al metano. Entre ambas membranas, existe una cámara de aire, la cual ejerce una presión mediante un soplante que garantiza que la presión del biogás almacenado se mantenga constante. Otra de las ventajas es que es de bajo costo operativo, y fácil instalación.

Tratamiento posterior según el uso final

Teniendo en cuenta el uso final del biogás será necesario eliminar un conjunto de impurezas, tales como agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc.

El biogás a la salida del digestor puede dirigirse a:

- Una caldera para generación de calor o electricidad.
- Motores o turbinas para generación de electricidad.
- Pilas de combustible.
- Red de gas.
- Obtención de biometano.

6.3.4 Proceso de purificación del biogás

Sea cual sea el fin del biometano que se va a producir, el biogás que se recibe debe pasar por dos etapas, una de limpieza o pretratamiento y una de valorización o enriquecimiento, con objeto de conseguir un biometano con las especificaciones requeridas por el uso al que esté destinado. La etapa de pretratamiento consiste en la eliminación de agua, H₂S, amonio, COVs y de partículas sólidas de la corriente de biogás. Es importante eliminar el H₂S y las partículas, ya que puede provocar corrosión en los equipos y un desgaste de los componentes mecánicos, respectivamente. Por ende, la optimización de esta etapa llevará a una reducción tanto de los costes de inversión como de los de operación y de mantenimiento.

Para establecer un punto en común en cuanto a las características que debe tener el biometano para su uso general, surgen los estándares de biogás, normativas que determinan los requerimientos que debe tener el biogás procesado para que pueda ser considerado como biometano. Estos deben estar comprendidos entre valores límites de acuerdo a una normativa específica.

En la Tabla 10, se pueden observar las especificaciones de biometano en Argentina.

Tabla 10. Especificaciones de calidad de gas natural en condiciones básicas.

Parámetro	Unidad	Condición Básica	Referencias de control
CO ₂	% molar	2,00	ASTM D 1945/ GPA 2261/ IRAM-IAP A 6852
Total de Inertes (CO ₂ + N ₂)	% molar	4,00	ASTM D 1945/ GPA 2261/ ISO 6976/ IRAM-IAP A 6852
O ₂	% molar	0,20	ASTM D 1945/ GPA 2261/ IRAM-IAP A 6852
H ₂ O	mg/m ³	65,00	ASTM 1142/IRAM-IAPG A 6856
SH ₂	mg/m ³	3,00	GPA 2377/ IRAM – IAPG A 6860
S total	mg/m ³	15,00	GPA 2377/ IRAM – IAPG A 6860/ / IRAM – IAPG A 6861
Punto de rocío de hidrocarburo	°C	< 4 a 5500 kPa	GPA 2286
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/m ³	37,04-42,70	GPA 2172/ ISO 6976/ IRAM- IAPG A 6854/ ASTM D3588
Índice de Wobbe	kWh/m ³	131,89-145,00	ISO 6976/IRAM-IAPG A 6854
Temperatura máxima	°C	50	

Fuente: (ENARGAS, 2019)

En los siguientes subapartados se describen los distintos componentes que pueden formar parte del biogás y los métodos empleados para separarlos:

Ácido sulfhídrico

Se forma durante la reducción microbiológica de compuestos que contienen azufre, como sulfatos, aminoácidos y péptidos. El H₂S debe separarse porque origina corrosión en los equipos empleados en la planta, también interfiere en la posterior eliminación del dióxido de carbono y puede provocar problemas de olores, además del hecho de que forma dióxido de azufre cuando se quema. Existen diferentes formas de eliminar el H₂S del biogás, mediante adsorción con carbón activo, a través de la precipitación, por medio de absorción química o empleando biofiltración.

Agua

El biogás extraído se encuentra saturado de agua, la cual debe ser eliminada ya que puede condensar y junto con el H₂S, formar H₂SO₄, el cual es altamente corrosivo. En instalaciones industriales se utilizan sistemas para secar el biogás, ya sea por compresión y/o enfriamiento del gas (chiller), adsorción en carbón activado o sílica gel y absorción en soluciones deglicol o sales higroscópicas. El método más utilizado, por la simplicidad en la operación y por su reducido costo operativo, es el de sistema de enfriamiento/compresión. Cuando el gas se enfría o se incrementa la presión, el vapor de agua condensa y el agua se puede retirar. Como la solubilidad del amoniaco en agua es alta, también se elimina una parte del mismo de la corriente de biogás. Dependiendo de la temperatura a la cual se enfríe, se pueden eliminar además de forma parcial los COVs y siloxanos.

Oxígeno y nitrógeno

No son componentes naturales del biogás, pero pueden aparecer si el gas que se obtiene está a una presión inferior a la atmosférica, lo cual puede provocar que el aire entre en contacto con éste, lo que no es recomendable. El O₂ es eliminado parcialmente mediante el sistema de adsorción con filtros de carbón activado. (García Sanchez, 2016)

Amoniaco

Se forma durante la degradación de proteínas. Las concentraciones existentes en el biogás dependen de la composición del sustrato y del pH. El amoniaco se separa normalmente cuando el gas se seca y en los procesos de valorización, por lo que no es necesaria una etapa independiente para separarlo del biogás. (García Sanchez, 2016)

Partículas

Las partículas presentes en el biogás pueden causar daño en los equipos debido a sus propiedades abrasivas, deposiciones no deseadas u obstrucciones en algunos sectores de la línea de conducción/limpieza/aprovechamiento; es por esto que deben ser eliminadas.

Se separan por medio de filtros mecánicos de papel o de tela. Esta eliminación puede realizarse antes del proceso de valorización del biogás o antes de pasar a las estaciones de compresión del biometano. (García Sanchez, 2016)

Siloxanos

Compuestos derivados del silicio, se emplean en productos como desodorantes y champús, pueden ser encontrados en los gases de vertedero y en el biogás obtenido a partir de lodos. Cuando los siloxanos se queman, forman óxido de silicio, el cual es origen de muchos problemas en los motores. El siloxano se puede eliminar enfriando el gas, mediante adsorción con carbón activado, aluminio activado o sílica gel, o mediante absorción con mezclas de hidrocarburos líquidos, como así también cuando se elimina el H₂S. (García Sanchez, 2016)

Pretratamiento

Existen diferentes técnicas para la eliminación de todos estos contaminantes. A continuación, en la Tabla 11, se presenta un cuadro comparativo de las diferentes técnicas de pretratamiento.

Tabla 11. Comparación de técnicas de pre tratamiento.

Técnica	SH ₂	O ₂	N ₂	COV _s	NH ₃	Siloxanos	H ₂ O
Adsorción	Si	Parcialmente	No	Si	Si	Si	Si
Lavado con agua	Si	No	No	Si	Si	Si	No
Biofiltración	Si	No	No	Si	Parcialmente	Parcialmente	No
Refrigeración	Parcialmente	No	No	Parcialmente	Si	Si	Si

Fuente: (García Sanchez, 2016)

En base a las características descritas en el cuadro anterior, se procede a elegir la técnica de biofiltración, seguida de una etapa de compresión y enfriamiento. La gran ventaja que presenta esta técnica, respecto de los sistemas fisicoquímicos es la carencia de contaminantes secundarios, menores costos de inversión y operación por el bajo consumo de reactivos, menor consumo energético al poder trabajar a temperatura ambiente y a presiones menores a 7 atm, altas eficiencias de degradación, biomasa inmovilizada en el sistema. Además, si lo comparamos con el proceso de adsorción con carbón

activado, este sistema biológico no presenta materiales desechables como al reemplazar el filtro de carbón activado, siendo más amigable con el medio ambiente.

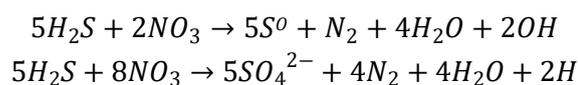
Biofiltración

El proceso de biofiltración elimina el H₂S en condiciones anaeróbicas. Este método utiliza la capacidad metabólica de algunos microorganismos que degradan sustancias contaminantes. El uso de ellos en la remoción de sulfuro de hidrógeno presente en el biogás, se basa en la oxidación microbiológica de H₂S a compuestos de azufre de fácil eliminación, como azufre elemental o sulfatos, fijando CO₂ simultáneamente como función estequiométrica de la oxidación del sulfuro. (M. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, P. Achondo, 2002). Las bacterias seleccionadas en los procesos para convertir H₂S a S deben tener las siguientes características: capacidad fiable de convertir H₂S a S, mínima entrada de nutrientes, y fácil separación de S de la biomasa.

Las bacterias anaeróbicas son comúnmente neutrófilas y mesófilas de géneros como *Allochromatium*, *Chlorobium*, *Rhodospseudomonas*, *Rhodovulum* y *Thiocapsa*. En cuanto a necesidades de fuente de energía y de carbono, se pueden distinguir los siguientes grupos: Fotoautótrofos y Quimioautótrofos. Ambos grupos son microorganismos adecuados para la biooxidación de sulfuro de hidrógeno. La bacteria fototrófica *Chlorobium limicola* tiene la capacidad de crecer en condiciones anaeróbicas utilizando sólo sustratos inorgánicos y una fuente de luz y debido a su eficiente producción extracelular de azufre elemental a partir de H₂S. En cambio, las bacterias quimiótrofas, no necesitan de luz solar, pero deben estar bajo condiciones controladas de oxígeno (M. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, P. Achondo, 2002)

Los microorganismos descritos anteriormente, necesitan de un soporte donde se puedan llevar a cabo los procesos, pudiendo realizarse mediante la inmovilización de los microorganismos o bien, mediante la suspensión. Para la eficacia de esta etapa es necesario trabajar con una temperatura de 30 °C y una presión de 1 atm. Los sistemas más utilizados son biofiltros de lechos fijos, biofiltros percoladores y biolavadores.

Las reacciones fundamentales que ocurren son:



Las mismas se presentan en simultáneo, siendo la segunda la reacción que ocurre en mayor proporción debido a su Energía de Gibbs.

Como se puede observar, para que las reacciones ocurran se necesita la incorporación de nitrato como aceptor de electrones. El mismo puede ser suministrado por medio del aprovechamiento de la corriente de digestato líquido, rica en amonio, que es transformado a nitrato según el proceso de nitrificación explicado en la siguiente sección.

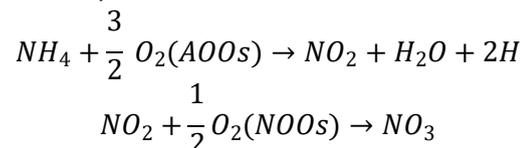
Sistema de Nitrificación

El término nitrificación describe el proceso biológico mediante el cual el amonio libre (NH₃) y salino (NH₄⁺) se oxidan a nitrito y subsecuentemente a nitrato, llevando a cabo por dos grupos de bacterias autótrofas, los organismos oxidantes de amonio (AOOs, por sus siglas en inglés Ammonia oxidizing organisms) y los organismos oxidantes del nitrito (NOOs, por sus siglas en inglés Nitrite oxidizing organisms).

Los mismos utilizan como fuente de carbón al CO_2 disuelto y como fuente de energía para la síntesis de nueva biomasa (anabolismo) a la energía liberada de la oxidación de amonio a nitrito y nitrito a nitrato (catabolismo).

De manera general, se considera que la nitrificación ocurre a través de dos pasos secuenciales de oxidación: (i) de amonio a nitrito debido a la actividad de los AOOs, y (ii) de nitrito a nitrato a través de la actividad de NOOs. (García, López Vázquez, Buitrón Méndez, & Cervantes Carrillo, 2017)

Las dos ecuaciones estequiométricas básicas formuladas a partir de las reacciones de reducción oxidación (redox) involucradas en el proceso de nitrificación son:



En cuanto al comportamiento de los organismos nitrificante, se debe tener en cuenta que, la tasa de conversión de amonio a nitrito, realizada por la actividad de los AOOs, es generalmente mucho más lenta que la tasa de conversión de nitrito a nitrato realizada por los NOOs. Por esta razón, en la mayor parte de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, cualquier nitrito generado se oxida rápidamente a nitrato. Como consecuencia, la concentración de nitrito que se observa en el efluente de la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales que no presentan ningún tipo de inhibición de la actividad de los NOOs es generalmente baja (<1mgN/l). (García, López Vázquez, Buitrón Méndez, & Cervantes Carrillo, 2017)

Debido a esto, a la hora de definir un modelo en estado estacionario solo será necesario considerar la cinética de los AOOs.

Generalmente se suele utilizar como sistema básico o elemental de lodos activados para el proceso de nitrificación, un reactor completamente mezclado con control hidráulico de la edad de lodos.

En el mismo es importante controlar ciertos parámetros como:

Tasa específica máxima de crecimiento de los organismos nitrificantes (μ_{Am20})

Se denomina así a la “constante” cinética, la cual varía considerablemente entre diferentes tipos de agua residual.

Temperatura

Como el proceso que se lleva a cabo en el reactor aerobio es por mediación de microorganismo, es muy importante tener en cuenta la temperatura que habrá en el interior del reactor.

Una mayor temperatura implica una mayor velocidad de reacción, sin embargo, la velocidad de nitrificación por unidad de volumen se puede mantener constante en diferentes rangos de temperatura. El principal problema es que aumenta la población microbiana y, por lo tanto, dificulta su posterior separación, además de requerir más carbono inorgánico para el crecimiento. Otro efecto de la temperatura es el efecto en la concentración de oxígeno en el reactor, el cual es muy importante debido a que el proceso es totalmente aerobio (oxidación del amonio), por lo tanto, es muy interesante saber la concentración.

En particular, el efecto de la temperatura en μ_{AmT} (tasa específica máxima de crecimiento) es alto, por cada 6°C que disminuye la temperatura, el valor de μ_{AmT} se reduce a la mitad, lo que significa que la edad de lodos mínima para nitrificación se duplica.

La sensibilidad de la temperatura de K_{nT} (Constante de saturación media a T °C de los organismos nitrificantes en mg N/l) es también alta, duplicándose o disminuyendo a la mitad por cada 6°C de incremento o reducción. Esto no afecta la edad de lodos mínima, pero sí afecta la concentración de amonio libre y salino presente en el efluente; entre mayor sea el valor de K_n , mayor será la concentración de amonio en el efluente para $TRS \gg TRS_m$. No obstante, a mayor temperatura, el mayor valor de μ_{AmT} compensa el efecto de un valor más alto de K_{nT} de tal forma que el efecto neto en la concentración de amonio en el efluente disminuirá al incrementar la temperatura

Inhibición en la nitrificación

Como cualquier proceso microbiológico, existen determinados compuestos que inhiben dichos procesos. Es muy importante conocer cada uno de las posibles inhibiciones para poder reducirlos en el máximo número posible. Los microorganismos nitrificantes son a numerosas sustancias tóxicas, como pueden ser cobre, cinc, níquel, cianuro, cadmio, arsénico, cromo, fluoruro, cloroformo, fenol, tiourea, hidracina, entre otros. Ningunos de los anteriormente mencionados están presentes en nuestro sistema, por lo tanto, nos debemos centrar en lo que sí están presentes.

Inhibición por amonio

Como la gran mayoría de microorganismos, una de las inhibiciones más importantes es la producida por su propio sustrato. Se puede considerar que comienza la inhibición aproximadamente cuando la concentración es de 60-70 g N / m³ que, si analizamos el Anexo 3, observamos que, en condiciones normales, la concentración en el reactor no supera los 1,5 gramos por cada metro cúbico, por lo que podemos descartar una inhibición por amonio.

pH

Fuera de un rango de pH 7-8, la tasa μ_{Am} es muy sensible a los cambios de pH del licor mezclado. Parece ser que tanto del ion hidrógeno o protón (H^+) como el ion hidroxilo (OH^-) tienen un efecto inhibitorio a medida que sus respectivas concentraciones se incrementan. Esto ocurre cuando el pH aumenta por encima de 8.5 (aumento de iones OH^-) o disminuye por debajo de 7.0 (aumento de iones H^+). Las tasas óptimas de nitrificación se encuentran entre $7.0 < pH < 8.5$ con una disminución abrupta fuera de este rango. Se opta por un pH de 7,5, el control del mismo se llevará mediante la adición de carbonato sódico.

Concentración de oxígeno disuelto (OD)

La cinética de Monod asume que la concentración de amonio libre y salino constituye el nutriente limitante del crecimiento de los AOOs, por lo tanto, el OD implica si el suministro de oxígeno es adecuado y suficiente.

Condiciones de flujo y cargas cíclicas

Debido a que el amonio libre y salino se encuentra en disolución (tanto en el reactor como en el efluente), la concentración del mismo se ve afectada por el tiempo de residencia hidráulico real; la mayor parte de amonio no nitrificado durante el tiempo de residencia hidráulico real escapa con el efluente.

El proyecto plantea el diseño de un biofiltro percolador, junto con un sistema de nitrificación basado en el proceso Ludzack-Ettinger Modificado. El esquema básico del proceso viene recogido en Figura 31.

El proceso comienza con dos entradas diferenciadas: Una alimenta el biofiltro y la otra el sistema de nitrificación, esta última, conformada por el digestato líquido rico en amonio, recirculado de la etapa de acondicionamiento de digestato, entra a un reactor continuo de tanque agitado con aireación, con el fin de mantener unas condiciones de oxígeno adecuadas para el crecimiento de la biomasa, así como una homogeneidad en el reactor. El efluente pasará a un separador (decantador) donde se separará el producto de la biomasa, ésta última regresará al biorreactor y el líquido clarificado pasará al biofiltro percolador. Además, tendrá un depósito de carbonato sódico para regular el pH, aportándole además el carbono inorgánico necesario para el crecimiento y mantenimiento celular.

El caudal de biogás junto con el líquido procedente del depósito de nitratos, se alimentan en el biofiltro, donde ingresa en contracorriente. Este caudal será rico en nitrato, con algunas trazas de amonio y una pequeña concentración de nitrito.

En el fondo de la columna, existe una retención del líquido que fluye a lo largo de la misma. Una parte del líquido se recircula de nuevo hacia la columna, donde se mezclará con el caudal procedente del depósito de nitratos, mientras que otra parte de este líquido se purgará.

Además, el biofiltro contará con un sistema de dosificación de hidróxido de sodio (NaOH) para regular el pH.

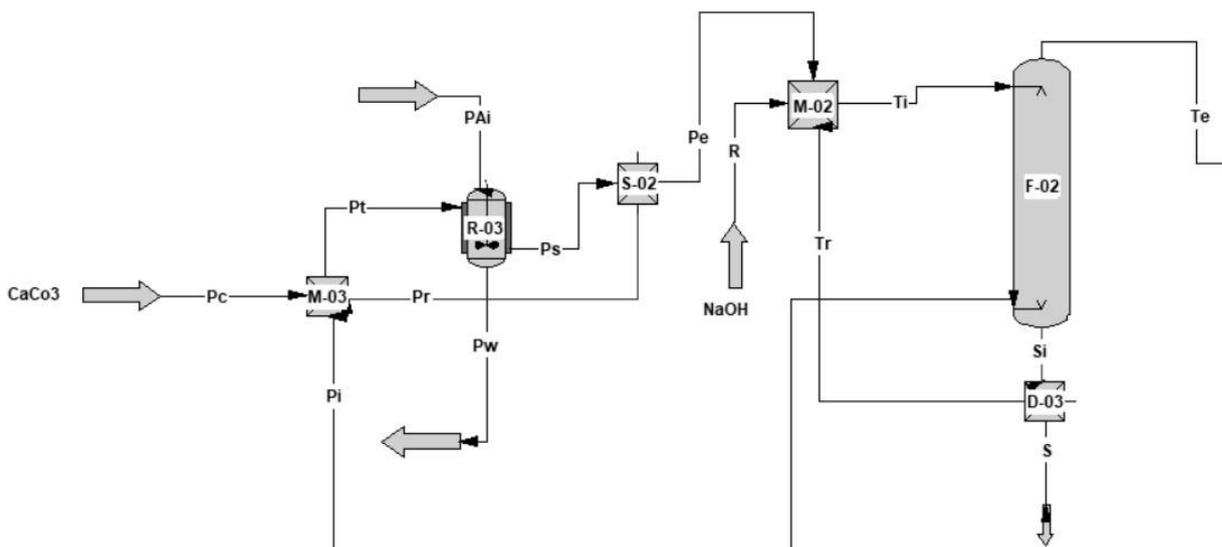


Figura 31. Sistema de nitrificación- reactor aerobio
Fuente: Elaboración propia

Enfriamiento

Convencionalmente, se suele incluir una etapa de enfriamiento, o una etapa de compresión, para eliminar el agua presente en el biogás, ya que éste sale saturado de los digestores.

Cuando el gas se enfría o se incrementa la presión, el vapor de agua condensa y se puede retirar. Considerando que la presión del gas a la salida de los biofiltros es de 1 atm, para la eliminación del agua mediante condensación, en la etapa siguiente se realiza compresión hasta 6 atm, seguido de una etapa de enfriamiento hasta la temperatura de 20 °C, El enfriamiento se puede conseguir conduciendo una tubería por el suelo, conectando una trampa de condensado o un condensador para retener el

agua. Es un método de bajo coste, pero efectivo. La humedad relativa del biogás puede alcanzar entre un 20% y 40%, valores suficientes para conseguir un biometano con un contenido en agua aceptable para su utilización. Además, es común la colocación de esta etapa antes de los filtros de carbón activo, en el caso de optar por esta tecnología en la etapa de enriquecimiento de biogás, contribuyendo a alargar la vida del adsorbente. Otros contaminantes condensables pueden ser eliminados, como los siloxanos, pero, a esta temperatura, la eliminación es solo parcial por lo que en etapas posteriores se continuará con su eliminación.

Enriquecimiento o Valorización del Biogás

En el proceso de valorización del biogás para obtener el biometano se parte del biogás procedente del proceso de limpieza o pretratamiento con el objetivo principal de eliminar el CO₂ contenido en el biogás. La retirada del mismo permite aumentar el poder calorífico del biogás, dicho procedimiento debe seleccionarse según los siguientes criterios:

- Concentración mínima requerida.
- Bajo consumo de material absorbente o adsorbente.
- No generar impactos ambientales significativos.
- Bajo costo y fácil disponibilidad.

A continuación, en la Tabla 12, se resume la complejidad y los costos de las diferentes tecnologías que se pueden utilizar para enriquecer al biogás, así como también la eficiencia lograda en cada caso.

En la práctica, existen distintos métodos empleados industrialmente para la separación del CO₂, los cuales se basan en las operaciones unitarias de la ingeniería química: absorción física y química, adsorción, permeación de gases, y otros métodos como los criogénicos. Por ese motivo, se los elige como procesos factibles de utilizar en la valoración del biogás. Por otra parte, los procesos biológicos han demostrado ser muy eficientes en la remoción del H₂S, es por ello que se utiliza dicho proceso en la etapa de pretratamiento, como se mencionó anteriormente. (García Sanchez, 2016)

Para la selección de la tecnología más adecuada se deben tener en cuenta varios factores simultáneamente, considerando los puntos positivos y negativos de cada tecnología. Es por ello que se eligió el proceso de PSA, debido a que cuenta con las siguientes ventajas:

- Consumo energético medio
- Fácil recuperación de CO₂
- Tecnología madura, ampliamente utilizado en la industria
- Pureza del CH₄ relativamente alta, 95%-97%
- Temperatura ambiente
- No consume agua ni otros solventes
- No genera residuos peligrosos
- El material de adsorción se puede regenerar para no desecharlo.
- Adecuado para el tratamiento de caudales pequeños como grandes.
- Tolerante a impurezas
- No consume calor.
- Separación de CO₂, siloxanos y COVs

Sin embargo, como toda tecnología presenta ciertas desventajas, el CO₂ sale junto con varios gases, por lo que para su comercialización se necesita un proceso de separación, además hay que tener en

cuenta que puede llegar a tener pérdidas de metano entre 1-5 % por fallas en válvulas, por lo que requiere un gran control del proceso.

Tabla 12. Parámetros funcionamiento y datos de eficiencia de las técnicas de purificación.

Técnica	Consumo de compuestos químicos	Consumo de agua	Temperatura de operación (°C)	Presión de operación (kPa)	Temperatura de regeneración (°C)	Pureza alcanzable (%)	Disponibilidad (%)	Perdidas de CH ₄ (%)	Consumo energético (kWh/m ³ biogás)
Absorción con Agua	No	Si	5-25	400-1000	-	97,00-99,00	95,00-96,00	0,5-3,00	0,20-0,40
Absorción física									
Orgánica :									
Genosorb	Si	No	20-40	400-700	70-80	>96,00	96,00- 98,00	1,00-4,00	0,23-0,51
Selexol	Si	No	0-40	>20000	55-80				
Absorción Química:									
MEA	Si	Si(bajo)	10-15	105-150	160	>99,00	96,00	<0,50	0,26-0,60
DEA	Si	Si(bajo)	20-55	800-7000	160				
MDEA	Si	Si(bajo)	50-70	>1000	120				
PSA	Si	No	10-20	400-800	-	>96,00	94,00	1,00-5,00	0,20-0,35
Membrana :									
Gas-Líquido	Si	Si	Ambiente	101,325	-	>95,00	95,00-96,00	>5,00	0,20-0,40
Gas-Gas	No	No	Ambiente	600-3000	-				
Criogénica	No	No	-80/-1100	> 60000		>99,00	-	<1,00	0,18-0,33

Fuente: (Lanao, 2013).

Sistema PSA para separación de metano

El proceso de PSA se basa en el hecho de que a alta presión los gases tienden a ser adsorbidos. De manera que, cuanto mayor sea la presión, más se adsorbe el gas, y cuando se reduce la presión, el gas se libera o se desorbe. Así, a diferencia de otros métodos de absorción, la regeneración del material se consigue mediante cambios en la presión.

En este sistema, el CO₂, el O₂ y el N₂ se separan por adsorción en zeolitas o carbón activado, a diferentes niveles de presión. El material de adsorción también adsorbe el H₂S, pero a diferencia de la adsorción de CO₂, es irreversible. Por ello esta técnica hace que el biogás valorizado obtenido esté libre de H₂S. (García Sanchez, 2016)

El biogás procedente de la etapa de limpieza, el cual se encuentra a una presión 6 atm, entra en los lechos de adsorción de los sistemas PSA para incrementar la concentración de CH₄. La adsorción del CO₂ es exotérmica, aspecto que debe tenerse en cuenta puesto que al aumentar la temperatura se reduce la capacidad de adsorción. Por este motivo el biogás debe enfriarse antes de su entrada en la unidad de PSA.

En la Figura 32, se presenta un esquema del sistema de adsorción mediante un sistema PSA. La adsorción consiste en 4 lechos, los cuales están conectados para disminuir la demanda de energía al comprimir el gas. Cada uno de ellos trabaja en 4 fases diferentes: adsorción, despresurización, regeneración y presurización. (García Sanchez, 2016)

En la fase de adsorción el biogás comprimido atraviesa el lecho, a medida que va circulando, el CO_2 , el O_2 y el N_2 se adhieren en la superficie del material adsorbente. El gas que deja el lecho por la parte superior se encuentra enriquecido en CH_4 , conteniendo aproximadamente un 99,45 % del mismo. Antes de que el material adsorbente se sature por completo, el biogás se lleva a otro lecho presurizado y ese lecho comienza a regenerarse. La regeneración consiste en bajar la presión en varias etapas, hasta casi el vacío. La despresurización se logra por equilibrio con otro lecho que ya esté regenerado. (García Sanchez, 2016)

El gas que sale del lecho contiene alta concentración de CH_4 , por lo que se recircula a la parte inicial del proceso de PSA. En la última etapa de la regeneración, se crea vacío en el lecho. El gas que ahora sale del mismo está formado principalmente por CO_2 , pero también conteniendo una pequeña cantidad de metano, lo cual significan pequeñas pérdidas en el proceso. (García Sanchez, 2016)

Antes de que el lecho pueda ser empleado de nuevo para la adsorción se debe aumentar la presión poco a poco. El lecho es presurizado por equilibrio de presiones con otro lecho que ha estado en la etapa de adsorción hasta que se alcanza la presión final para alimentar el biogás. (García Sanchez, 2016)

El producto principal, biometano, se transporta a través de una serie de cañerías hasta el gasoducto, el cual lo conduce hasta el consumidor final, estación de GNC, donde es comprimido para su comercialización.

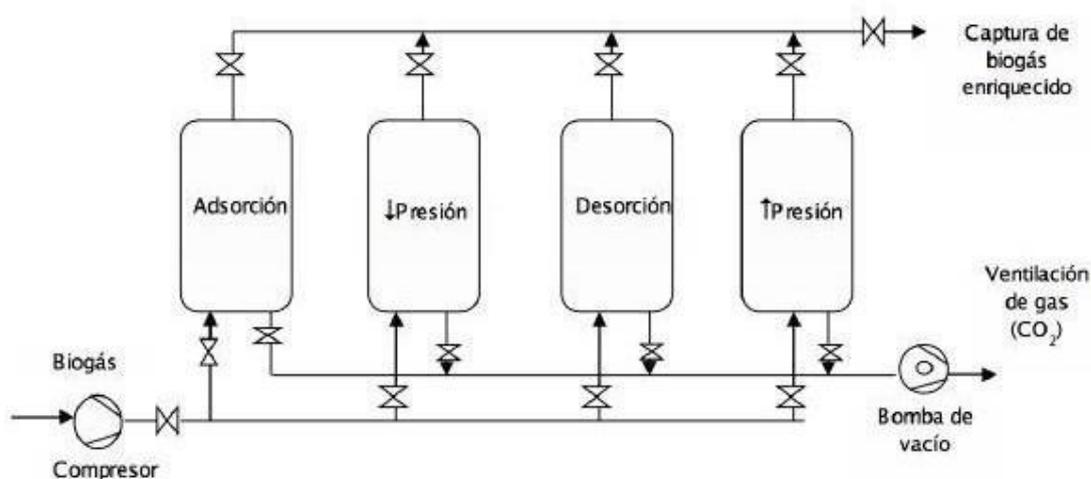


Figura 32. Esquema de la tecnología PSA.
Fuente: (Arellano, 2017)

Gases de subproducto

En cuanto a la mezcla de gases que se obtienen como subproducto de la purificación del biogás, conformado mayoritariamente por CO_2 y en menor medida por trazas de COVs, H_2S , y H_2O . (Lopez, 2015)

El CO_2 se puede comercializar en estado sólido, líquido y gaseoso. Entre las industrias que lo emplean destacan las siguientes:

- Industria química: Dentro de esta amplia industria el CO_2 se utiliza como regulador del pH, para la extinción del fuego, para purificaciones o para el teñido de polímeros y otras fibras animales o vegetales. También es usado para controlar la temperatura de los reactores nucleares.

- Industria alimentaria: Se emplea para la carbonatación de bebidas gaseosas y para aumentar la duración de los alimentos mediante atmósferas inertes. Otro uso dentro de esta industria sería la eliminación de la cafeína del café.
- Industria médica: Se emplea para crear una atmósfera similar a la que hay en el interior de un cuerpo humano durante la manipulación de órganos para trasplantes.
- Industria metalúrgica: Se emplea para la eliminación de humos durante la carga de chatarra de los hornos eléctricos de arco. También se emplea como gas de protección durante la soldadura. (Lopez, 2015).

6.3.5 Tratamiento del digestato y posibles usos

Como subproducto de la digestión anaerobia se obtiene un lodo muy nutritivo para el suelo. El contenido de humedad del digerido depende del tipo de biodigestión anaeróbica (seca, semisecca o húmeda) empleado, mientras que la calidad y la cantidad de los nutrientes están directamente relacionada con el tipo de sustrato utilizado para alimentar el biodigestor.

Los digeridos tienen uso agronómico, lo que permite sustituir parcial o totalmente el empleo de fertilizantes inorgánicos (urea, fosfato monoamónico, etc.) y mejorar las propiedades físico químicas de los suelos por el aporte de materia orgánica.

El digestato tiene una relación C / N más baja, en comparación por ejemplo con el estiércol crudo. Lo cual significa que el digestato tiene un mejor efecto de fertilización con nitrógeno a corto plazo, ya que cuando el valor de la relación C / N es demasiado alto, los microorganismos se adhieren al suelo, compitiendo con las raíces de las plantas para utilizar el nitrógeno disponible.

Para su uso como fertilizante, el digestato necesita ser de la más alta calidad y libre de patógenos, impurezas físicas y químicas u otro contaminante. La mayoría de estas situaciones es salvada empleando un correcto control de calidad del sustrato de alimentación. Además, el proceso de biodigestión anaeróbica tiene efecto sanitizante, siendo posible la inactivación de la mayoría de los patógenos presentes en la mezcla de sustrato en el interior del digestor. La inactivación de patógenos ocurre como resultado de la combinación de temperaturas constantes de proceso (termófilas y mesófilas) y tiempos de retención del sustrato, en interacción con otros parámetros del microambiente en el interior del digestor. Los biodigestores mesofílicos y termofílicos logran reducir en más de un 50% el contenido de materia seca de la mezcla utilizada para la alimentación, de lo que resulta un digerido con una materia orgánica microbiológicamente más estable que los materiales originales. En el caso del digestor seleccionado en este trabajo, se logra extraer un digestato con 87,82% de humedad. Además, la acción de los microorganismos modifica la proporción de nitrógeno inorgánico disponible ($N-NH_4^+$) en relación con el nitrógeno total (orgánico + inorgánico), lo que permite una asimilación rápida por parte de los cultivos y/o su transformación en nitratos en el suelo. En la tabla 13 se puede observar la composición fisicoquímica de dos digestatos obtenidos a partir de la reacción aerobia de FORSU, la primera mediante digestión seca y la segunda digestión húmeda.

En función de la carga usada y del proceso desarrollado, la materia orgánica conocida como bioabono puede presentarse de dos formas: líquida y sólida. El digestato obtenido del reactor seleccionado posee un grado humedad considerable, por lo tanto, un gran volumen, requiriendo un acondicionamiento previo a su uso, con el objetivo de reducir el volumen y concentrar los nutrientes. Esto es particularmente importante en el momento de transportar el digestato y así lograr reducir costos, y al mismo tiempo disminuir emisiones de contaminantes y olores.

El primer paso del tratamiento es la separación de fases, líquido-sólido, el cual se puede realizar con diferentes tecnologías, como lechos de secado, separadores rotativos, separadores helicoidales, separadores gravimétricos o centrifugas. Mediante un sistema separación helicoidal, estos son comúnmente utilizados en centrales de biogás que trabajan con digeridos con un porcentaje de materia seca superior a 3%. Estos equipos tienen una alta eficiencia de operación y un bajo costo operativo.

La fracción líquida obtenida contiene altos niveles de N, así como de amonio. Además, la concentración media de P en los digestatos líquidos es mucho más alta que en los digestatos sólidos.

En la Tabla 14 se muestra la composición del digestato, así como de la fracción líquida y sólida obtenido a partir del estiércol animal.

La fracción sólida, es dirigida al sector destinado para su estabilización final mediante compostaje.

En cuanto al almacenamiento del digerido, es importante contar con un sistema que permita utilizarlo en los períodos de mayores requerimientos de nutrientes de los cultivos, y, de este modo, evitar que estos se pierdan por volatilización y/o lixiviación. Para la fracción líquida, se deberá garantizar estanqueidad, para evitar la percolación de líquido al suelo y/o cursos de agua. Mientras que, para la fracción sólida es importante evitar las pérdidas de nitrógeno por volatilización durante el almacenamiento. Estas se producen cuando los valores de pH del producto son superiores a 8,0, las temperaturas son elevadas (>20 °C) y el reservorio no es cubierto. Tales condiciones facilitan la volatilización de nitrógeno en forma de amoníaco. (Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores, 2019)

El modo de aplicación de los digeridos dependerá de si han sido sometidos o no a separación. La fracción sólida suele tener un contenido de MS superior al 19%, y la distribución se puede realizar con estercoleras de sólidos, normalmente, antes de la siembra del cultivo. Se puede incorporar al suelo con un equipo cultivador para acelerar la mineralización de la materia orgánica. La fracción líquida suele tener un contenido de MS inferior a 8% y su aplicación se puede realizar con estercoleros para líquidos o equipos de riego (Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores, 2019).

El uso de la fracción líquida es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces, flores y frutos, gracias al contenido de Hormonas vegetales, que son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de la fermentación anaeróbica (que no se presentan en el compost). (Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores, 2019)

Sin embargo, existen diversos usos, como aprovecharlo para la obtención de nitrato mediante el proceso de nitrificación detallado anteriormente, debido a que contiene altos niveles de N, así como de amonio.

Tabla 13. Características de digestato obtenido a partir de FORSU

Parámetro	Unidad	Digerido de central de digestión seca	Digerido de central de digestión húmeda
Materia seca 105°C		58,00	2,20
Materia Orgánica	% BS	41,70	-
Cenizas 600°C	% BS	-	0,60
Nitrógeno total (N)	% BS	1,50	15,40
Fósforo total (P ₂ O ₅)	% BS	0,85	0,3
Potasio total (K ₂ O)	% BS	1,50	10,4
pH	CaCl ₂	8,00	8,30
Plomo	mg/kg BS	34,40	34,00
Cadmio	mg/kg BS	0,49	<1
Cromo	mg/kg BS	18,70	296
Níquel	mg/kg BS	11,10	251
Mercurio	mg/kg BS	0,09	<1
Zinc	mg/kg BS	194	124

Fuente: (Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores, 2019)

Tabla 14. Distribución de componentes del digestato en fase líquida y sólida

	Cantidad (%)	MS (%)	N (%)	NH ₄ -N (%)	P (%)	K(%)
Digestato	100	100 (6,4%)	100 (5,7%)	100 (4,2%)	100 (1,6%)	100 (2,6%)
Fracción sólida	14	65 (30%)	25 (10,1%)	15 (4,5%)	75 (8,7%)	17 (3,1%)
Fracción líquida	86	35 (2,6%)	75 (4,9%)	65 (4,2%)	25 (0,5%)	83 (2,5%)

Fuente: (Biogas, Handbook, 2018)

Conclusiones del Capítulo 6

El proceso seleccionado es entonces, un proceso continuo, donde la totalidad de FORSU salientes del proceso de clasificación de residuos urbanos, se derivan, en primera instancia, a un pre acondicionamiento de la materia prima, en donde se eliminan cuerpos extraños y se consigue un tamaño óptimo como así también un grado de humedad adecuado, para dirigirse hacia el reactor.

Debido a la gran cantidad de sólidos, la fermentación anaerobia se lleva a cabo a partir de un proceso de digestión seca, se utiliza un reactor de una etapa cuyos parámetros de operación son: pH: 6-7, temperatura: 50 °C, TRS: 30 días, TRH: 21 días.

A medida que la reacción avanza, el digestato residual abandona el reactor por la parte inferior, donde una parte es recirculado hacia la zona de mezclado antes de ingresar al reactor, y lo restante se dirige hacia un sector donde se le realiza un acondicionamiento y estabilización, para alcanzar las características necesarias para su correcta comercialización.

El biogás se genera de manera continua en el reactor y se elimina del mismo por la parte superior, sufriendo diversas modificaciones hasta llegar a la estación de GNC.

Inmediatamente abandona el reactor, el biogás es succionado por un compresor, el cual eleva su presión. A continuación, se encuentra el filtro biológico de remoción de sulfuro de hidrógeno. El biogás luego se enfría, con el fin de condensar el agua contenida, ésta es eliminada del proceso en la línea de

biogás por pequeñas pendientes de las cañerías que derivan el líquido a trampas de agua. El nitrato requerido para la remoción del sulfuro de hidrogeno, se obtiene al someter al digestato líquido a un proceso de nitrificación, en un reactor aerobio de mezcla perfecta.

Seguidamente, el biogás seco ingresa al proceso de enriquecimiento de CH_4 , PSA, en donde se logra obtener biometano al 99 % aproximadamente. El mismo es dirigido hacia estaciones de servicio donde lo comprimen para su posterior comercialización.

En cuanto al CO_2 obtenido en gases de subproducto es retirado, tratado y purificado por una empresa externa.

7. Balances de masa y energía

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos correspondientes a los balances de masa y energía de cada uno de los equipos involucrados para la obtención de biometano a partir de FORSU. Se procede a definir la producción anual y los días de operación, considerando una base de tiempo diaria y que el proceso opera en modo continuo.

La planta productora se divide en dos zonas, la primera se encarga de acondicionar la materia prima que ingresa al reactor. Mientras que la segunda abarca desde la entrada al reactor anaerobico hasta la producción de metano, ambas trabajan de manera continua las 24 horas de los 7 días de la semana, en turnos rotativos de 8 horas. Como base de cálculo, se han tomado los 365 días debido a que la materia prima se obtiene de forma permanente día a día, considerando que se puede estimar, con una buena aproximación un tiempo de operación de 8.760 horas al año.

Repasando, los datos obtenidos son:

- Materia prima anual: 7.300 t FORSU/año
- Meses de operación: 12 meses/año
- Días de operación: 365 días/año
- Horas de operación: 8760 h/año

Con los datos anteriores se obtienen los siguientes valores de producción:

- Producción anual: 791.816,40 m³ de biometano/año.
- Producción mensual: 65.984,70 m³ de biometano/mes.
- Producción diaria: 2.169,36 m³ de biometano/día.
- Producción horaria: 90,39 m³ de biometano/h.

Para permitir el funcionamiento continuo de la planta es necesario operar con dos reactores anaeróbicos. La parada de cada reactor y la puesta en marcha tienen una duración de 3 meses cada uno, por lo que se trabaja durante 6 meses al año con ambos reactores y los meses restantes, sólo funciona uno. La producción diaria promedio no es la producción real de la planta, sino que se calcula tomando el valor de la totalidad de residuos generados anualmente, (7.300 t /año) para que puedan ser tratados en 9 meses (ya que cada reactor trabaja 9 meses de forma continua). De esta manera, 6 meses la planta trabaja con una capacidad de 26.669,63 kg FORSU/día, mientras que la otra mitad del año lo hará a la mitad de producción, es decir, 13.334,82 kg/día. Para evitar inconvenientes, el diseño de la planta debe realizarse a la máxima capacidad de producción, la cual es de 26.669,63 kgFORSU/día.

7.1. Diagrama de flujo representativo del balance de masa

A continuación, se muestra el diagrama de flujo donde se representan las corrientes de proceso y se esquematizan los equipos para que sea más fácil de visualizar e interpretar el balance de masa:

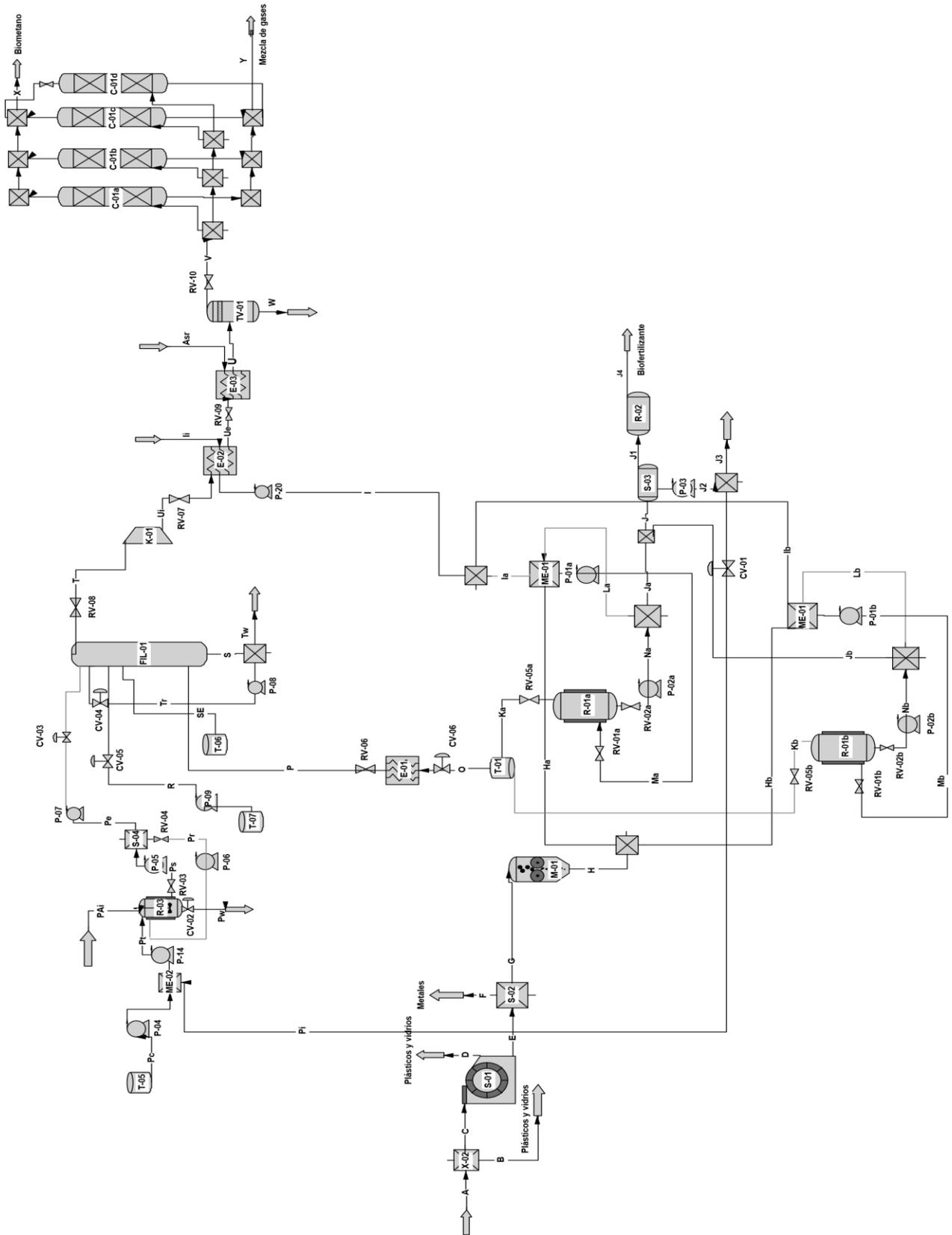


Figura 33. Diagrama de proceso
Fuente: Elaboración propia.

7.2. Referencias

Tabla 15. Referencias de equipos de proceso

Código	Equipo	Especificaciones
X-02	Cinta transportadora para inspección visual	Eliminar plásticos
S-01	Separador mecánico mediante tamiz vibratorio	Separar sólidos indeseados
S-02	Separador magnético	Eliminar metales
M-01	Molino de martillo	Disminuir el tamaño de sólidos
ME-01	Mezclador	Mezclar FORSU, agua y digestato recirculado
R-01	Reactor anaeróbico	Reacción biológica anaeróbica
S-03	Separador mecánico sólido-líquido	Separar agua del digestato sólido
R-02	Estabilizador	Reacción biológica aeróbica
T-01	Tanque de almacenamiento de gas	Almacenar biogás
E-01	Intercambiador de calor	Enfriar el biogás para el ingreso al biofiltro
ME-02	Mezclador	Mezclar líquidos para homogenizar temperatura.
R-03	Reactor aeróbico	Reacciones de nitrificación aeróbicas
S-04	Separador por gravedad sólido-líquido	Separar los lodos de la corriente líquida para recircularlos al reactor aeróbico
FIL-01	Filtro biológico	Eliminar el H ₂ S de la corriente de biogás
K-01	Compresor	Comprimir el biogás para lograr la eliminación del agua.
E-02	Intercambiador de calor	Disminuir la temperatura del Biogás mediante recuperación de calor
E-03	Intercambiador de calor	Disminuir la temperatura del Biogás para lograr eliminar el agua de la corriente gaseosa
TV-01	Trampa de vapor	Eliminar el agua del Biogás
C-01	Sistema PSA integrado por 4 torres	Eliminar el CO ₂ de la corriente de Biogás
T-05	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de CaCO ₃ 5%
T-06	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de CaNO ₃ 51%
T-07	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de NaOH 50%
T-08	Laguna de almacenamiento	Almacenar digestato líquido
T-09	Tanque de almacenamiento	Almacenar residuo líquido

Fuente: Elaboración propia.

7.3. Balance de masa

El balance se efectúa por etapas, y las corrientes intervinientes se referencian según el diagrama precedente.

La materia prima a utilizar es la FORSU, como ya se menciono anteriormente, las características de las mismas son función de multitud de factores y varían de un municipio a otro, de una estación a otra y hasta entre barrios de una misma ciudad, por lo cual es difícil establecer unos estándares.

A continuación se define la nomenclatura utilizada para cada componente que interviene en los balances de masa.

$x1 = FORSU$

$x2 = vidrios\ y\ plásticos$

$x3 = metales$

$x4 = H_2O$

$x5 = CH_4$

$x6 = H_2S$

$x7 = CO_2$

$x8 = N_2$

$x9 = K$

$x10 = P$

$x11 = Materia\ seca$

$x12 = S$

$x13 = H_2SO_4$

$x14 = CaCO_3$

$x15 = lodos$

$x16 = NaOH$

Un sustrato en particular, tiene un potencial máximo de generación de metano, basado en su contenido de carbono, el cual no es posible exceder; sin importar cómo la planta haya sido diseñada u operada. Las bases para la obtención de este valor teórico fueron primeramente estudiadas por Symons y Buswell, en 1933. En la práctica, de todas formas, dicho valor teórico no puede ser alcanzado, ya que una parte del carbono, sumado a la energía obtenida por la reacción catabólica, es utilizado por los mismos microorganismos para el mantenimiento de sus funciones, al igual que para el crecimiento y mantenimiento de su propia biomasa. Una proporción del carbono puede también no ser transformado debido a que podría no ser anaeróticamente biodegradable, siendo protegido del ataque microbiano a través de su estructura química o localización física. Para salvar todo lo anterior, el potencial específico máximo de un sustrato, expresado como $m^3\ CH_4 \cdot kg^{-1}\ SV$, puede ser determinado experimentalmente mediante un ensayo de Potencial Bioquímico de Metano (PBM). Sin embargo, los resultados obtenidos a través del ensayo PBM, puede que tampoco sean verificados al escalarlo a un reactor continuo o semi-continuo, por un número de razones, a saber: en un sistema mixto como un reactor de mezcla completa, una proporción del sustrato puede baipasear el sistema; el tiempo de retención medio del digestor podría no ser suficiente para alcanzar la degradación completa del sustrato; o el balance de nutrientes y minerales podría ser insatisfactorio para el mantenimiento activo del consorcio anaeróbico. (Reynoso, 2017)

Para poder hacer un cálculo estimativo de la producción de biogás que tendría el sustrato, debe poder definírsele y caracterizarlo, en este caso se trabajará a partir de una caracterización modelo de una FORSUD extraída de la bibliografía, para luego fijar condiciones que formarán parte de dicho cálculo.

7.4.1. Recepción de la FORSU

La planta de reciclaje cuenta con un espacio para el almacenamiento de los residuos orgánicos producidos por la población, en donde también puede depositarse la materia recibida desde Monte Buey y General Ordoñez. De esta manera, solo resta trasladar la misma hacia el proceso, lo cual se logra mediante un tornillo helicoidal.

7.4.2. Separación de cuerpos extraños

Se considera que la FORSU contiene un 1,5% de materiales impropios producto de una deficiente separación.

Inspección Visual

La materia prima es clasificada con el fin de eliminar plásticos y vidrios que puedan ser detectados a simple vista por los operarios. De esta manera se logra extraer el 16,67% de materiales impropios, principalmente vidrios y plásticos de tamaño grande, los cuales representan el 0,25% de la corriente A.



Figura 34. Inspección Visual
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

A: FORSU no acondicionada.

B: Corriente de rechazos de vidrios y plásticos

C: Corriente resultante.

En la Tabla 16 se muestran los balances realizados.

Tabla 16. Balances de masa en X-02

Balance general: A+B=C	
Balance parcial FORSU (x1)	$A \cdot x_1 = B \cdot x_1 + C \cdot x_1$
Balance parcial vidrios y plásticos (x2)	$A \cdot x_2 = B \cdot x_2 + C \cdot x_2$
Balance parcial de metales (x3)	$A \cdot x_3 = B \cdot x_3 + C \cdot x_3$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 17. Corrientes involucradas en X-02

Equipo X-02					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
A	Entrada	FORSU	0,985	26.269,58	26.669,63
		Vidrios y plásticos	0,01	266,70	
		Metales	0,005	133,35	
B	Salida	Vidrios y plásticos	1	66,70	66,70
C	Salida	FORSU	0,9875	26.269,58	26.602,93
		Vidrios y plásticos	0,0075	200	
		Metales	0,005	133,35	

Fuente: Elaboración propia

Separación de plásticos y vidrios

Se elimina la totalidad de plásticos y vidrios de la corriente proveniente de la inspección visual, lo cual representa un 0,75% de la corriente C, mediante una separación por medio de cribado.

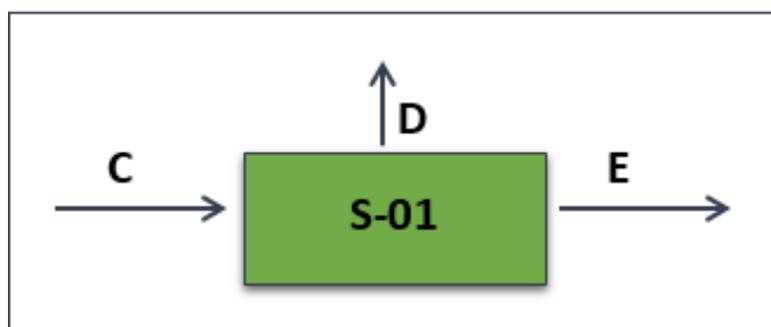


Figura 35. Separación de plásticos y vidrios

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

C: Corriente resultate.

D: Plásticos y vidrios.

E: FORSU y metales.

En la Tabla 18 se detallan los balances realizados.

Tabla 18. Balances de masa en S-01

Balance general: A+B=C	
Balance parcial FORSU (x1)	$C \cdot x_1 = D \cdot x_1 + E \cdot x_1$
Balance parcial vidrios y plásticos (x2)	$C \cdot x_2 = D \cdot x_2 + E \cdot x_2$
Balance parcial de metales (x3)	$C \cdot x_3 = D \cdot x_3 + E \cdot x_3$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 19. Corrientes involucradas en S-01

Equipo S-01					
Descripción del equipo:					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
C	Entrada	FORSU	0,9875	26.269,58	26.602,93
		Vidrios y plásticos	0,0075	200	
		Metales	0,005	133,35	
D	Salida	Vidrios y plásticos	1	200	200
E	Salida	FORSU	0,9949	26.269,58	26.402,93
		Vidrios y plásticos	0	0	
		Metales	0,0051	133,35	

Fuente: Elaboración propia

Separación de metales

Se eliminan por último los metales de la corriente proveniente de la etapa anterior, el cual representa un 0,51% de la corriente E.



Figura 36. Separación de metales

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

E: FORSU y metales.

F: Metales.

G: FORSU.

En la Tabla 20 se muestran los balances realizados.

Tabla 20. Balances de masa en S-02

Balance general: E=F+G	
Balance parcial FORSU (x1)	$E \cdot x_1 = F \cdot x_1 + G \cdot x_1$
Balance parcial vidrios y plásticos (x2)	$E \cdot x_2 = F \cdot x_2 + G \cdot x_2$
Balance parcial de metales (x3)	$E \cdot x_3 = F \cdot x_3 + G \cdot x_3$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 21. Corrientes involucradas en S-02

Equipo S-02					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
E	Entrada	FORSU	0,9949	26.269,58	26.402,93
		Vidrios y plásticos	0	0	
		Metales	0,0051	133,35	
F	Salida	Metales	1	133,35	133,35
G	Salida	FORSU	1	26.269,58	26.269,58

Fuente: Elaboración propia

Reducción de Tamaño

Se procede a disminuir el tamaño de la FORSU, a través de un molino de martillo.

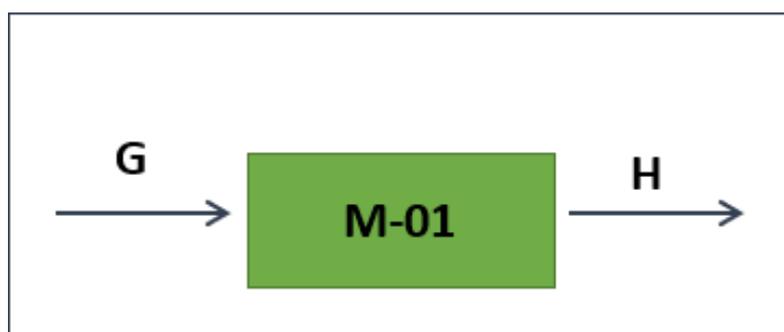


Figura 37. Reducción de Tamaño

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

G: FORSU.

H: FORSU totalmente acondicionada.

En la Tabla 22 se detalla el balance realizado en el equipo.

Tabla 22. Balances de masa en M-01

Balance general: G=H

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 23. Corrientes involucradas en M-01

Equipo M-01					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
G	Entrada	FORSU	1	26.269,58	26.269,58
H	Salida	FORSU	1	26.269,58	26.269,58

Fuente: Elaboración propia

7.4.3. Reacción Anaeróbica

Mezclador

La corriente acondicionada se divide en dos fragmentos por igual, de 13.134,79 kg/día, ambas son almacenadas en SL-01 y SL-02, para luego ser dirigidas cada una hacia un mezclador distinto, en donde se combinan con una corriente de reciclo de digestato y una de agua caliente.



Figura 38. Mezclador a la entrada del Reactor R-01
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

H: FORSU acondicionada.

L :Reciclo del digestato.

I: Agua.

M: Corriente resultante.

FORSU

La composición de la FORSU neta se encuentra en la Tabla 5.

Agua

Para lograr la humedad y temperatura necesaria de la corriente que ingresa al reactor anaeróbico en el paso siguiente, se agrega agua caliente, logrando así una humedad de la corriente inicial del 74%.

La cantidad de agua a emplear se calcula de la siguiente manera:

$$I := 15\% \cdot \text{FORSU}$$

$$\frac{I + (0.7 \cdot H)}{I + H} = 0.74$$

Reciclo

Se decide optar por recircular una relación 6:1 de digestato proveniente del reactor próximo, con respecto a la corriente H.

En la

Tabla 24 se muestran los balances realizados.

Tabla 24. Balances de masa en ME-01

Balance general: H+L+I=M	
Balance parcial agua (x4)	$H \cdot x4 + L \cdot x4 + I \cdot x4 = M \cdot x4$
Materia seca (x11)	$H \cdot x11 + L \cdot x11 + I \cdot x11 = M \cdot x11$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25 se observan las características de las corrientes involucradas. Se detalla solo la composición de agua y materia seca. Como se mencionó anteriormente, se disponen de dos mezcladores, por lo que cada corriente (H, L, I, M) se dividen en dos corrientes (a y b).

Tabla 25. Corrientes involucradas en ME-01

Equipo ME-01					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
H	Entrada	Agua	0,7	18.388,71	26.269,58
		Materia seca	0,3	7.880,87	
L	Entrada	Agua	0,8782	138.419,70	157.617,51
		Materia seca	0,1218	19.197,81	
I	Entrada	Agua	1	3.940,44	3.940,44
M	Salida	Agua	0,8558	160.742,81	187.827,54
		Materia seca	0,1442	27.084,73	

Fuente: Elaboración propia

Reacción

Una vez que la materia prima esté acondicionada, el siguiente paso es la fermentación anaeróbica. Al igual que el mezclador, se disponen de dos unidades del mismo tamaño, por lo que tanto la corriente M, K y N se dividirán en dos (a y b).

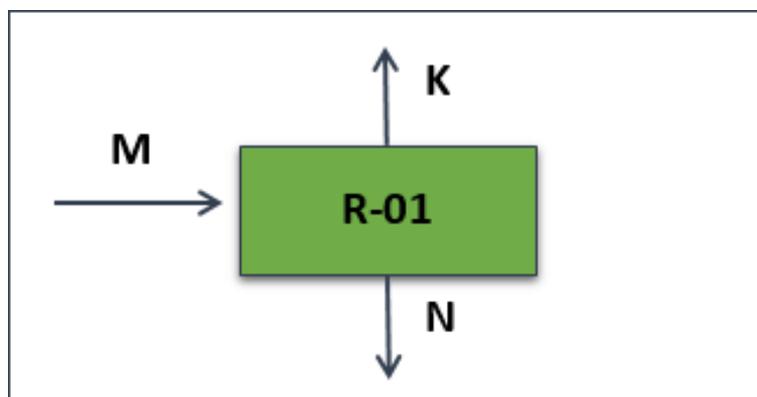


Figura 39. Reactor anaeróbico

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

M: Sustrato.

K: Corriente de Biogas.

N: Corriente de Digestato.

Biogás producido

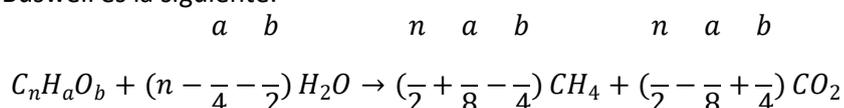
Para el cálculo del caudal másico de biogás obtenido se utilizó la ecuación de Buswell, sin embargo hay que tener en cuenta que por la complejidad y excesiva variabilidad en las reacciones biológicas, suele tener un grado de error debido a la cantidad de suposiciones a realizar (Reynoso, 2017). En dicho método se utiliza la composición del sustrato especificada en el capítulo 2, la cual se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Composición de FORSU

Características	Unidad	Composición
Sólidos totales (ST)	%	30
Humedad	%	70
Sólidos volátiles (SV/ST)	%	95
Carbono (C)	%	48,3
Hidrógeno (H)	%	7,6
Oxígeno (O)	%	35,8
Nitrógeno (N)	%	3,3
Cenizas	%	5

Fuente: (Reynoso, 2017)

La ecuación de Buswell es la siguiente:



El método de resolución se detalla en el anexo 2. En base al mismo, se obtiene un valor energético bruto de 4.664,83 MJ/t y un volumen de metano de 120,54 m³/t_{SUBSTRATO}, lo que es lo mismo que decir 422,94 m³/t_{SV}. Donde X_{Vk} es la fracción de vapor de la corriente.

La composición del biogás no es precisa, generalmente se dan rangos de valores entre los cuales oscila la concentración de los componentes, de esta manera se definen los valores según bibliografía. (Boletín Oficial del Estado, 2013).

Consumo de agua

Como se puede observar, la reacción planteada por Buswell consume agua para la producción de metano y dióxido de carbono. Dicho consumo se calcula de la siguiente manera, con datos obtenidos del anexo 2.

$$H2O_{real\ reaccion} = 0.0425 \frac{kg}{kg}$$

$$H2O_{reaccion'} := H2O_{real\ reaccion} \cdot H$$

En la Tabla 27 se muestra los balances realizados en el equipo.

Tabla 27. Balances de masa en R-01

Balance general: M=K+N	
Balance parcial agua (x4)	M*x4=K*x4+N*x4+ Agua de reacción

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las características de las corrientes involucradas. Solo se considera materia seca y agua, con la finalidad de simplificar los cálculos.

Tabla 28. Corrientes involucradas en R-01

Equipo R-01					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
M	Entrada	Agua	0,8558	160.742,81	187.827,54
		Materia seca	0,1442	27.084,73	
K	Salida	Agua	0,0417	264,5	6.357,90
		Metano	0,3813	2.424,26	
		Sulfuro de hidrógeno	0,0035	22,25	
		Dióxido de carbono	0,5581	3.548,34	
		Nitrógeno	0,0155	98,55	
N	Salida	Agua	0,8782	159.366,64	181.469,64
		Materia seca	0,1218	22.103	

Fuente: Elaboración propia

La corriente N es calculada en base a agua y materia seca con fin de simplificar los cálculos, sin embargo, la corriente contiene pequeñas cantidades de otros compuestos provenientes de la reacción, como nitrógeno, potasio y fósforo. Estos mismos están presentes tanto en la fracción sólida como en la líquida.

En la Tabla 29 se detalla las características de la corriente K.

Tabla 29. Características de la corriente K

Componentes	Fracción volumétrica	Fracción másica	Caudal volumétrico (m ³ /día)	Caudal másico (kg/día)
Metano (CH ₄)	0,6030	0,3813	5.251,73	6.357,90
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,3217	0,5581		
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0,0025	0,0035		
Agua (H ₂ O)	0,0588	0,0417		
Nitrógeno (N)	0,0140	0,0155		

Fuente: Elaboración propia

7.4.4. Lodos (Digestato)

La tasa de acumulación de lodos en el proceso anaerobio depende del líquido a tratar y es más grande cuando ésta presenta una alta concentración de sólidos suspendidos, especialmente cuando estos sólidos no son biodegradables.

Una fracción de la corriente de digestato (N) se recircula al mezclador que se encuentra antes del reactor anaeróbico, corriente L, lo demás continua hacia la estabilización de este para la producción de biofertilizante. Al disponer de dos reactores, la corriente N que egresa de cada reactor es la mitad en cada uno de ellos, es decir, 90.734,82 kg/día.

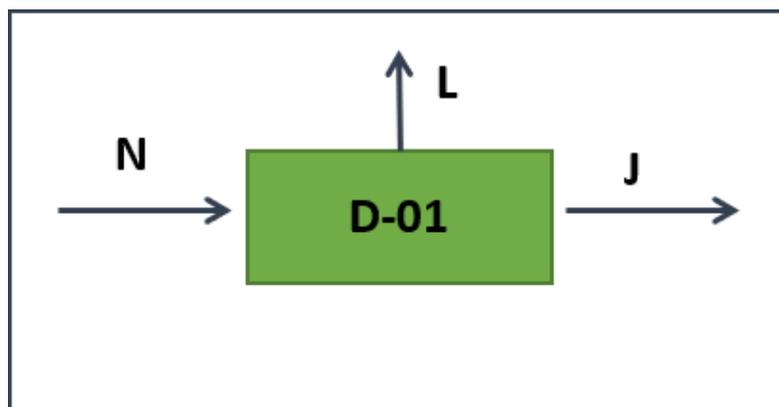


Figura 40. Divisor a la salida del R-01
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

N: Digestato.

L: Recirculación de digestato.

J: Digestato restante.

En la Tabla 30 se muestra el balance realizado.

Tabla 30. Balance de masa en D-01

Balance general: N=L+J

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 31 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 31. Corrientes involucradas en D-01

D-01					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
N	Entrada	Agua	0,8782	159.366,64	181.469,64
		Materia seca	0,1218	22.103,00	
L	Salida	Agua	0,8782	138.419,70	157.617,51
		Materia seca	0,1218	19.197,81	
J	Salida	Agua	0,8782	20.946,94	23.852,13
		Materia seca	0,1218	2.905,19	

Fuente: Elaboración propia

Separación líquido sólido del digestato

La corriente resultante J de cada uno de los reactores, se dirigen hacia un separador helicoidal para separar la fracción líquida de la sólida.

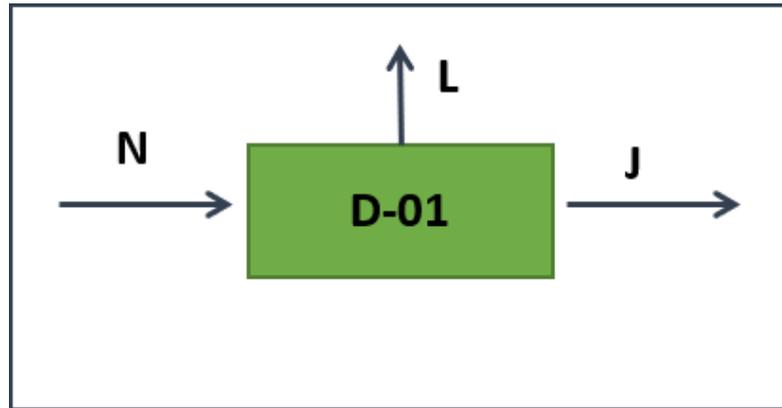


Figura 41. Separador Helicoidal
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

J: Digestato.

J1: Digestato Solido.

J2: Digestato liquido.

Como se mencionó anteriormente, la corriente J contiene nutrientes tanto en la fase líquida como sólida.

En la Tabla 14 se detalla la fracción de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio que se lleva cada una de las corrientes, por lo que se plantean los balances de masa de la Tabla 32 teniendo en cuenta que la fracción sólida, J1, tiene un contenido de materia seca de 65% con respecto a la corriente J, así como 25% de nitrógeno, 75% de fósforo y 17% de potasio. Mientras que el resto permanece en la corriente líquida J2.

Tabla 32. Balances de masa en S-03

Balance general: J=J1+J2	
Balance parcial agua (x4)	$J \cdot x_{4j} = J1 \cdot x_{4j1} + J2 \cdot x_{4j2}$
Balance parcial de materia seca (x11)	$J \cdot x_{11j} = J1 \cdot x_{11j1} + J2 \cdot x_{11j2}$
Balance parcial de nitrógeno (x8)	$J \cdot x_{8j} = J1 \cdot x_{8j1} + J2 \cdot x_{8j2}$
Balance parcial de potasio (x9)	$J \cdot x_{9j} = J1 \cdot x_{9j1} + J2 \cdot x_{9j2}$
Balance parcial de fósforo (x10)	$J \cdot x_{10j} = J1 \cdot x_{10j1} + J2 \cdot x_{10j2}$

Fuente: Elaboración propia

El balance de agua y materia seca de J1 y J2 se resuelve de la siguiente manera:

Corriente J1

$$J1 \cdot x_{4j1} = (0.35) \cdot (J \cdot x_{4j})$$

$$0.65 \cdot J (MS_{digestato}) = J1 \cdot MS_{digestatoJ}$$

Corriente J2

$$J2 \cdot x_{4j2} = (0.65) \cdot (J \cdot x_{4j})$$

$$0.35 \cdot J (MS_{digestato}) = J2 \cdot MS_{digestatoJ}$$

De esta manera, la corriente J1 y J2 serán igual a la sumatoria de la cantidad de agua y materia seca correspondiente a cada una.

$$J1 := (0.35) \cdot (J \cdot x4j) + 0.65 \cdot J \cdot (MS_{digestato})$$

$$J2 := (0.65) \cdot (J \cdot x4j) + 0.35 \cdot J \cdot (MS_{digestato})$$

En la tabla 13 se especifica la composición del digestato con una humedad de 2% y 58%, por lo que se procede a extrapolar dichos valores para la presente humedad.

$$x8j_{BS} := \frac{1.5 - \frac{(58 - 12.2) \cdot (1.5 - 15.4)}{58 - 2.2}}{100} = 0.1291$$

$$x9j_{BS} := \frac{1.5 - \frac{(58 - 12.2) \cdot (1.5 - 10.4)}{58 - 2.2}}{100} = 0.0881$$

$$x10j_{BS} := \frac{0.85 - \frac{(58 - 12.2) \cdot (0.85 - 0.3)}{58 - 2.2}}{100} = 0.004$$

$$xcenizasj_{BS} := \frac{\frac{12.2 \cdot 0.6}{2.2}}{100} = 0.033$$

Se calculan las fracciones correspondientes en base húmeda.

$$x8j := x8j_{BS} \cdot MS_{digestato} = 0.0157 x9j$$

$$:= x9j_{BS} \cdot MS_{digestato} = 0.0107 x10j :=$$

$$x10j_{BS} \cdot MS_{digestato} = 0.0005$$

$$xcenizasj := xcenizasj_{BS} \cdot MS_{digestato} = 0.0041$$

Considerando que los sólidos totales es la sumatoria de las cenizas y los sólidos volátiles, se calcula la cantidad de sólidos volátiles presentes en la corriente J.

$$xSVj := MS_{digestato} - xcenizasj = 0.1177$$

Tanto la corriente líquida como sólida está formada por componentes como el nitrógeno, potasio, fósforo. De la Tabla 14 se obtiene que la proporción de los mismos en cada fracción separada es la siguiente

$$N_{fracliquida} := 75\%$$

$$N_{fracsolidida} := 25\%$$

$$P_{fracliquida} := 25\%$$

$$P_{fracsolidida} := 75\%$$

$$K_{fracliquida} := 83\%$$

$$K_{fracsolidida} := 17\%$$

Se procede a calcular las fracciones másicas de los componentes en las corrientes J1 y J2
Corriente J1

$$x_{8j1} := \frac{N_{fraccsolida} \cdot x_{8j} \cdot J}{J1} = 0.0102$$

$$x10j1 := \frac{K_{fraccsolida} \cdot J \cdot x10j}{J1} = 0.0002$$

$$x9j1 := \frac{P_{fraccsolida} \cdot x9j \cdot J}{J1} = 0.0208$$

Corriente J2

$$x8j2 := \frac{N_{fraccliquida} \cdot J \cdot x8j}{J2} = 0.0192$$

$$x10j2 := \frac{K_{fraccliquida} \cdot J \cdot x10j \cdot MS_{digestato}}{J2} = 0.0001$$

$$x9j2 := \frac{P_{fraccliquida} \cdot J \cdot x9j}{J2} = 0.0044$$

En la Tabla 33 se observan las características de las corrientes involucradas. Se considera que la fracción de materia seca y agua conforma la totalidad de la corriente con fin de simplificar los cálculos, siendo el nitrógeno, fosforo y potasio parte de ambos.

Tabla 33. Características de las corrientes involucradas en S-03

Equipo S-03								
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)
J	Entrada	Materia seca	0,1218	20.946,94	23.852,13	Nitrógeno	0,0157	314,48
		Agua	0,8782	2.905,19		Fósforo	0,0005	11,93
						Potasio	0,0107	255,22
J1	Salida	Materia seca	0,2048	1.888,22	9.219,81	Nitrógeno	0,0102	94,04
		Agua	0,7952	7.331,59		Fósforo	0,0002	1,84
						Potasio	0,0208	191,77
J2	Salida	Materia seca	0,0695	1.016,95	14.632,32	Nitrógeno	0,0192	280,94
		Agua	0,9305	13.615,37		Fósforo	0,0001	1,46
						Potasio	0,0044	64,38

Fuente: Elaboración propia

Divisor de corrientes

La corriente correspondiente al digestato líquido se separa para dar una parte al sistema de nitrificación y la corriente restante, se la puede considerar como otro subproducto, debido a que posee propiedades de un biofertilizante.

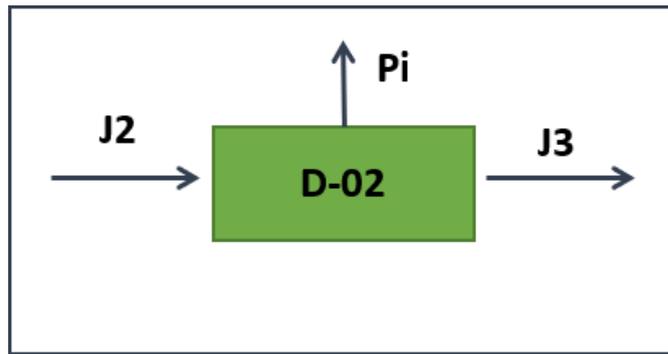


Figura 42. Divisor D-02
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34 se muestra el balance realizado:

Tabla 34. Balance realizado en D-02

Balance general: J2=Pi+J3

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 35 se observan las características de las corrientes involucradas. Se considera que la fracción de materia seca y agua conforma la totalidad de la corriente con fin de simplificar los cálculos

Tabla 35. Corrientes involucradas en D-02

D-02								
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)
J2	Entrada	Materia seca	0,0695	1.016,95	14.632,32	Nitrógeno	0,0192	280,94
		Agua	0,9305	13.615,37		Fósforo	0,0001	1,46
						Potasio	0,0044	64,38
J3	Salida	Materia seca	0,0695	735,57	10583,78	Nitrógeno	0,0192	203,31
		Agua	0,9305	9.848,21		Fósforo	0,0001	1,06
						Potasio	0,0044	46,57
Pi	Salida	Materia seca	0,0695	281,37	4.048,54	Nitrógeno	0,0192	77,73
		Agua	0,9305	3.767,17		Fósforo	0,0001	0,40
						Potasio	0,0044	17,81

Fuente: Elaboración propia

Estabilizador de lodos

La fracción sólida, se degrada parcialmente requiriendo solo un proceso de maduración final para su completa estabilización y refinamiento. Este proceso se lleva a cabo en una instalación de compostaje al aire libre, R-02.

La DQO de la fracción sólida debe ser mayor que la de la fracción líquida, por lo que se selecciona el valor más alto. (Energy Technology- Environmental Technology- Manufacturing, 2021).

$$DQOj1 := 20 \frac{mg}{gm}$$



Figura 43. Equipo de estabilización aerobia
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

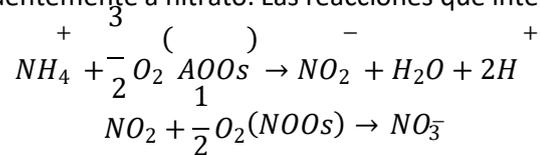
J1: Digestato Solido

J4: Biofertilizante

7.4.5. Sistema de Nitrificación

Este sistema se utiliza para aprovechar el nitrógeno que se encuentra en el digestato líquido convirtiéndolo en nitrato, componente necesario para el correcto funcionamiento del biofiltro. En el anexo 3 se desarrolla el modelo correspondiente y se obtienen los valores de las corrientes.

La nitrificación consiste en un proceso biológico mediante el cual el amonio libre (NH_3) y salino (NH_4^+) se oxidan a nitrito y subsecuentemente a nitrato. Las reacciones que intervienen son las siguientes:



La primera reacción es la limitante del proceso, mientras que la segunda ocurre de manera muy rápida, por lo que la cantidad de nitrito en la corriente resultante es muy baja y es menor a 1 mgN/l (Tratamiento biológico de aguas residuales, 2017).

En los modelos en estado estacionario se acepta que la nitrificación es un proceso estequiométrico, es decir, los organismos nitrificantes actúan solamente como catalizadores del proceso, la tasa de formación de nitrato es igual a la tasa de conversión de amonio libre y salino.

Mezclador de corrientes líquidas

Se mezcla la corriente P_i , proveniente del digestato líquido, con P_c , solución de CaCO_3 , con la finalidad de disminuir la temperatura de P_i desde 50°C a 30°C , temperatura óptima para la reacción de nitrificación. La cantidad de agua necesaria para lograr dicha temperatura se calcula en el balance de energía.

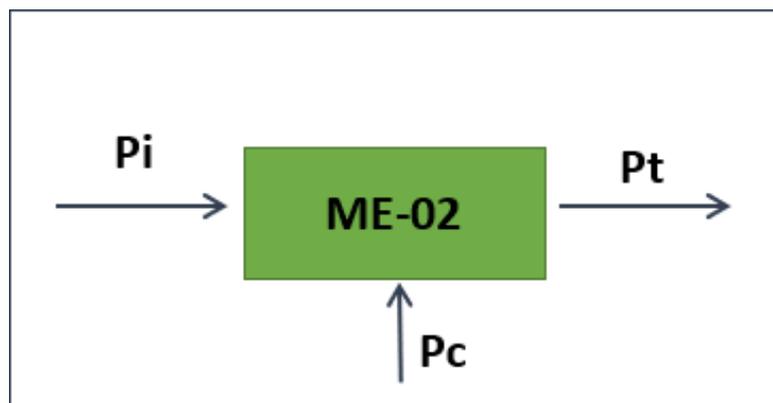


Figura 44. Mezclador de líquidos
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 36. Balance de masa en ME-02 se detalla el balance realizado.

Tabla 36. Balance de masa en ME-02

Balance general: $P_i = P_t + P_c$
--

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 37 se observa las características de las corrientes involucradas.

Tabla 37. Características de corrientes involucradas

D-02					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
Pi	Entrada	Materia seca	0,0695	281,37	4.048,54
		Agua	0,9305	3.767,17	
Pc	Entrada	Carbonato de Calcio	0,0479	450,50	9.463,70
		Agua	0,9521	9.013,2	
Pt	Salida	Materia seca	0,0208	281,37	13.512,24
		Carbonato de Calcio	0,0333	450,50	
		Agua	0,9462	12.780,37	

Fuente: Elaboración propia

Reactor Aerobio

Los cálculos se realizaron con datos obtenidos a 20°C, debido a que los coeficientes necesarios para el procedimiento se encontraron a dicha temperatura, sin embargo, el proceso actual ocurre a 30°C. Esto no conlleva a problemas, sino que resulta en un sobredimensionamiento de las condiciones operativas, asegurando el proceso de nitrificación.

Además, se selecciona un TRS de 17 días, suficiente para que ocurran las reacciones deseadas.

Por otro lado, cuando la nitrificación es un requisito, los sedimentadores no pueden llevar a cabo el doble rol de clarificadores y espesadores del lodo de purga, debido a que, para poder obtener el mismo concentrado, la relación del caudal de recirculación debe ser bajo (<0,25:1), lo que resulta en tiempos de retención de lodos elevados en los sedimentadores. Esto último estimula a su vez el proceso de desnitrificación en los sedimentadores produciendo lodos flotantes en la superficie de los sedimentadores, lo cual no es lo deseado.

Teniendo en cuenta lo mencionado, es conveniente realizar la purga de lodos directamente del reactor biológico y así aprovechar las ventajas que ofrece el control hidráulico de edad de lodos. Así, si en el

sistema se especifica una edad de lodos de 17 días, una diecisieteava parte (1/17) del volumen del reactor debe ser purgada a diario.

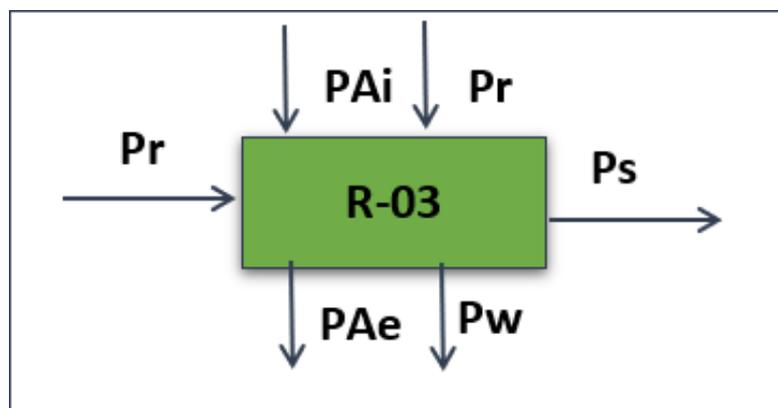


Figura 45. Reactor aerobio
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Pi: Digestato líquido

Pr :Reciclo del reactor aeróbico.

Pc: Corriente de CaCO_3

PAi: Corriente de Aire.

Ps: Corriente salida del reactor aerobio de nitrificación.

Pw: Corriente de purga

Carbonato de calcio

La finalidad del carbonato de calcio es mantener el pH constante ya que las reacciones de nitrificación libera protones, lo cual disminuye la alcalinidad. El mismo se adiciona en forma de solución, con agua suficiente para que se disminuya la temperatura de la corriente Pi a 30°C para su ingreso al equipo R-03.

El proceso de nitrificación consume alcalinidad (a razón de 7,14 mg/l como CaCO_3 por cada mg de amonio libre y salino convertido a nitrato). De esta manera se obtiene la cantidad de CaCO_3 que será necesario introducir al sistema. En el anexo 3 se detallan los cálculos correspondientes

Antes de expresar la composición de las corrientes se debe entender algunos conceptos. NTK se refiere al nitrógeno total presente en la corriente, mientras que el amonio libre y salino representa un 75% de NTK y la fracción de nitrógeno soluble no biodegradable, el 3%. El primero es utilizado por las bacterias para la producción de nitrato, mientras que el segundo escapa con el efluente. Por otro lado, el nitrógeno orgánico asociado al componente orgánico particulado no biodegradable se incorpora directamente a la masa de lodos. De esta manera, el nitrógeno orgánico biodegradable, tanto soluble como particulado se convierte en amoníaco para ser utilizado por las bacterias nitrificantes. Como conclusión, una parte del NTK se utiliza para la producción de lodos, la fracción soluble no biodegradable se mantiene en valores constantes, mientras que otra parte se convierte en el amonio disponible para la producción de nitrato.

Con respecto a otros componentes presentes en la corriente, se considera que el fósforo tiene un reducción igual que el nitrógeno, es decir, se logra remover el 97% del mismo. Mientras que el potasio es utilizado para las actividades metabólicas de las bacterias y se considera una reducción del 50%.

En lo que respecta a la DQO la reducción es del 76%, partiendo desde 15 kg/m^3 hasta lograr una DQO igual a $3,56 \text{ kg/m}^3$.

En la tabla 38 se observan las características de las corrientes involucradas. Se detallan por separado las corrientes Pi y Pc para simplificar los cálculos.

Tabla 38. Características de las corrientes involucradas en R-03

R-03						
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Concentración (mg/l de Pi)	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
Pi	Entrada	NTK (N _{ti})	19.222,86	0,019	76,92	4.048,54
		Amonio libre y salino (N _{ai})	14.417,15	0,0144	58,30	
		Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (N _{ousi})	576,69	0,0006	2,43	
		Nitrógeno orgánico particulado no biodegradable (N _{oupi})	2.879,13	0,0029	11,74	
		Nitrógeno orgánico biodegradable (N _{obi})	1.349,90	0,0013	14,17	
		Amonio disponible para el proceso de nitrificación (N _{an})	15.578,84	0,0156	63,16	
		Fósforo		0,0001	0,40	
		Potasio		0,0044	17,81	
Pc	Entrada	Carbonato de calcio		0,0479	450,50	9.463,70
		Agua		0,9521	9013,2	
Pr	Salida	Lodos		0,0015	6,07	4.048,54
		Agua		0,9985	4.042,47	
Ps	Salida	NTK (N _{te})	576,97	0,0001	2,32	16.629,94
		Amonio libre y salino (N _{ae})	0,281	0	0	
		Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (N _{ouse})	576,69	0,0001	2,30	
		Nitrógeno orgánico particulado no biodegradable (N _{oupe})	2.879,13	0,0007	11,07	
		Nitrógeno orgánico biodegradable (N _{obse})	0	0	0	
		Nitrógeno requerido para la producción de lodos (N _s)	3.067,34	0,0007	12,42	
		Nitrato (N _{ne})	15.578,56	0,0031	63,07	
		Fósforo		0	0	
		Potasio		0,0005	8,43	
Pw	Salida	NTK (N _{te})		0,0001	0,09	930,83
		Amonio libre y salino (N _{ae})		0	0	
		Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (N _{ouse})		0,0001	0,13	
		Nitrógeno orgánico particulado no biodegradable (N _{oupe})		0,0007	0,67	
		Nitrógeno orgánico biodegradable (N _{obse})		0	0	
		Nitrógeno requerido para la producción de lodos (N _s)		0,0007	0,65	
		Nitrato (N _{ne})		0,0031	2,88	
		Fósforo		0	0	
		Potasio		0,0005	0,47	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 39 se muestra los balances realizados en el equipo.

Tabla 39. Balances de masa en R-03

Balance general: $P_i+P_r+P_c=P_s+P_w$	
Balance parcial de nitrógeno	$N_{obi}=N_{ti}-N_{ai}-N_{ousi}-N_{oupi}$ $N_{an}=N_{ti}-N_s-N_{ouse}$ $N_{te}=N_{ae}+N_{ouse}$ $N_{ne}=N_{an}-N_{ae}$
Balance de materia seca (x11)	$P_i \times 11 p_i + P_c \times 11 p_c + P_r \times 11 p_r = P_s \times 11 p_s + P_w \times 11 p_w$
Balance de agua (x4)	$P_i \times 4 p_i + P_c \times 4 p_c + P_r \times 4 p_r = P_s \times 4 p_s + P_w \times 4 p_w$
Balance de carbonato de calcio (x14)	$P_i \times 14 p_i + P_c \times 14 p_c + P_r \times 14 p_r = P_s \times 14 p_t + P_w \times 14 p_w$
Balance de lodos (x15)	$P_i \times 15 p_i + P_c \times 15 p_c + P_r \times 15 p_r = P_s \times 15 p_s + P_w \times 15 p_w$

Fuente: Elaboración propia

Aire

El oxígeno necesario para se produzca la reacción se entrega al sistema en forma de aire. Por medio de la estequiometría de las reacciones involucradas, se obtiene el requerimiento de oxígeno:

$$requerimientodeoxigeno := 2 \cdot \frac{32}{14} = 4.571$$

El mismo se calcula en el anexo 4 y es el resultado de iterar hasta obtener una velocidad de transferencia de oxígeno mayor que la velocidad de consumo, adoptando una concentración para el oxígeno disuelto en el seno del líquido de 0,4 g/m³. De esta manera se obtiene el valor de la corriente P_{Ai} .

$$P_{Ai} = 3.089,04 \frac{m^3}{día}$$

Sedimentador

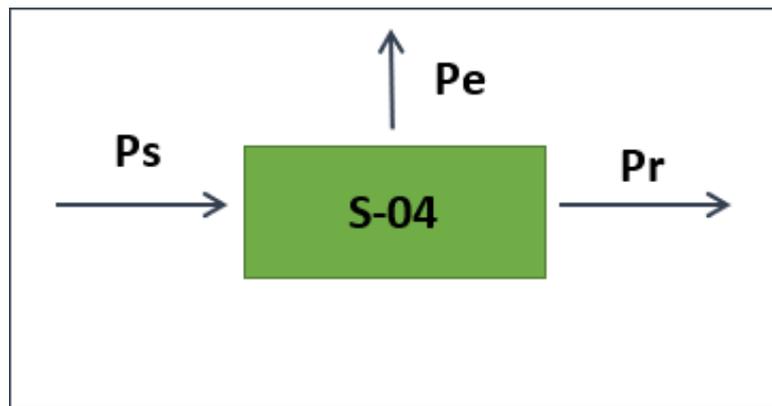


Figura 46. Sedimentador salida del R-03

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Pr: Corriente reciclo.

Pe: Corriente de NO₃ a la salida del reactor.

Corriente de recirculación

Debido a que la nitrificación ocurre de manera inevitable (ya que el TRS_m es bajo e igual a 3,29 días),

es recomendable aumentar la relación de recirculación de lodos (1:1) para minimizar la presencia de

lodo flotante. De esta manera se obtiene un lodo poco concentrado, lo cual no es un problema ya que la purga se realiza directamente del reactor. (Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo, 2017). Por este motivo, se define una razón de recirculación de 1:1 con respecto a la corriente Pi.

La producción de lodos en este tipo de tratamiento se encuentra entre 0,5 a 1 kg VSS (solidos suspendidos volátiles) /kg N. A mayor temperatura, la producción de lodos disminuye como producto del aumento de la tasa de respiración endógena de los microorganismos. Puesto que la temperatura de operación es 30°C, se tomará el valor más pequeño de producción de lodos. Estos lodos pasan a formar parte de la corriente Pr que se recircular al reactor R-03. A continuación, se detallan los cálculos realizados.

$$\text{produccionlodos} := 0.5 \cdot N_s \cdot P_{iV} = 6.21 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{day}}$$

En la Tabla 40 se muestra los balances involucrados.

Tabla 40. Balances de masa en S-04

Balance general: Ps=Pe+Pr	
Balance de lodos	0,5 kgVSS/kgN*Ns*Pi
Balance de agua (x4)	Ps*x4ps=Pe*x4pe+Pr*x4pr

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41 se observan las características de las corrientes involucradas, sin tener en cuenta los nutrientes presentes.

Tabla 41. Composición de corrientes involucradas en S-04

S-04					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
Ps	Entrada	lodos	0,0004	6,65	16.629,94
		Agua	0,9996	16.623,29	
Pr	Salida	lodos	0,0015	6,07	4.048,54
		Agua	0,9985	4.042,47	
Pe	Salida	Agua	1	12.581,41	12.581,41

Fuente: Elaboración propia

7.4.6. Acondicionamiento del Biogás

En esta etapa se tiene como objetivo remover el ácido sulfúrico y el agua de la corriente de biogás.

Tanque de almacenamiento de Biogás

Se almacena en un gasómetro a presión atmosférica para asegurar un flujo estable en las operaciones posteriores.



Figura 47. Tanque de almacenamiento Biogás
Fuente: Elaboración propia

Donde:

K: Corriente de Biogás

O: Corriente de Biogás

En la Tabla 42 se muestra el balance realizado.

Tabla 42. Balance de masa en T-01

Balance general: $K=O$

Fuente: Elaboración propia

Intercambiador de calor

Se enfría el biogás que se encuentra a 50°C hasta 30°C, temperatura a la cual se necesita para que ingrese al biofiltro. El caudal de agua de enfriamiento necesaria se obtiene del balance de energía.

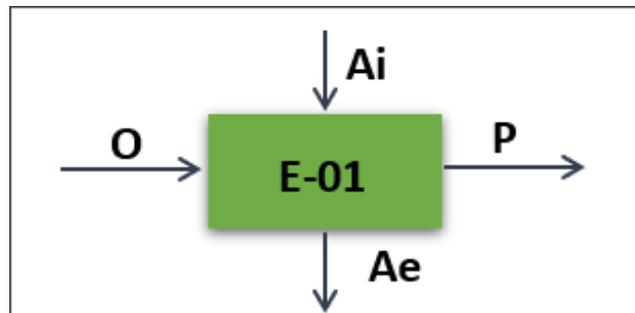


Figura 48. Intercambiador de calor
Fuente: Elaboración propia

Donde:

O: Corriente de Biogás

P: Corriente de Biogás

Ai: Agua

Ae: Agua

En la Tabla 43 se detallan los balances realizados.

Tabla 43. Balances de masa involucrados en E-01

Balance general: $O=P$

$Ai=Ae$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 44. Composición de corrientes involucradas en E-01

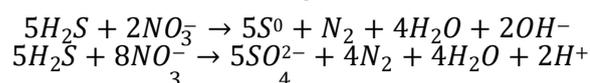
E-01							
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Fracción vapor	Temperatura (°C)	Total (kg/día)
O	Entrada	Agua	0,0417	265,12	1	50	6.357,90
		Metano	0,3813	2.424,27			
		Sulfuro de hidrógeno	0,0035	22,25			
		Dióxido de carbono	0,5581	3.548,35			
		Nitrógeno	0,0155	98,55			
Ai	Entrada	Agua	1		-	18	937,15
P	Salida	Agua	0,0417	265,12	0,98	30	6.357,90
		Metano	0,3813	2.424,27			
		Sulfuro de hidrógeno	0,0035	22,25			
		Dióxido de carbono	0,5581	3.548,35			
		Nitrógeno	0,0155	98,55			
Ae	Salida	Agua	1		-	22	937,15

Fuente: Elaboración propia

Biofiltro

El objetivo es eliminar el H₂S en condiciones anaeróbicas, con la finalidad de que éste último disminuya su concentración a niveles aceptables en el biogás. Se consigue la eliminación total de este componente.

Las reacciones que ocurren en la reacción son las siguientes:



La segunda ecuación tiene una energía de Gibbs mayormente negativa por lo que se considera que se produce en mayor medida. De esta manera, A partir de las relaciones estequiométricas, considerando que solo el 20% de H₂S produce azufre elemental, mientras que el resto produce SO₄²⁻, se calcula la cantidad de S y H₂SO₄ que se retiran con la corriente S.

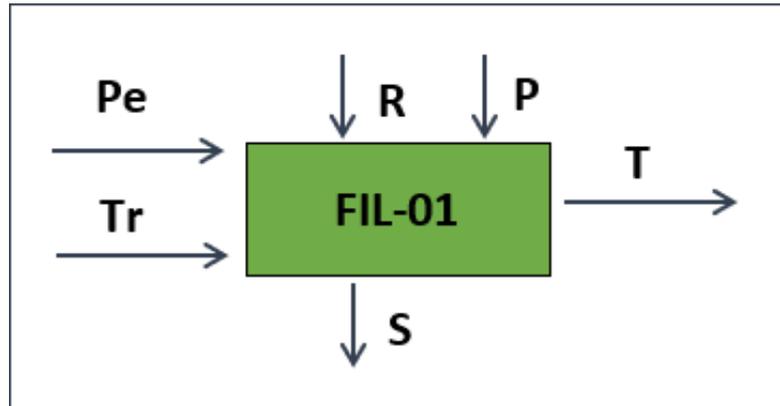


Figura 49. Biofiltro
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

R: Corriente de NaOH.

Tr: Corriente reciclo del biofiltro.

Pe: Corriente de NO₃ a la salida del reactor.

S: Corriente azufre elemental, ácido sulfúrico, agua, nitrógeno y Biogas.

T: Corriente de biogas sin H₂S.

P: Corriente de Biogas.

A través de la estequiometría de las reacciones se calcula el S y H₂SO₄ producido por cada una.

$$mol_{H_2S} := \frac{P \cdot x6k \cdot \frac{kg}{day}}{34 \frac{gm}{mol}}$$

Reacción 1:

$$mol_{H_2S.1} := mol_{H_2S} \cdot 0.2$$

$$mol_S := mol_{H_2S.1}$$

$$caudal_{masico}_S := mol_S \cdot 32 \frac{gm}{mol}$$

Reacción 2:

$$mol_{H_2S.2} := mol_{H_2S} \cdot 0.8$$

$$mol_{H_2SO_4} := mol_{H_2S.2}$$

$$\text{caudal}_{\text{masico}}_{\text{H}_2\text{SO}_4} := \text{mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 98 \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$$

Consumo de Nitrato

Si se observan las reacciones expuestas anteriormente, se puede ver que en la primera se consumen 0,4 moles de nitrato por cada mol de H₂S, mientras que en la segunda se consumen 1,6 moles por cada mol de H₂S. Con el objetivo de brindarle a los microorganismos todo el sustrato que puedan necesitar, se considera el consumo máximo posible, por lo que se escoge el valor de 1,6 mol NO₃/mol H₂S.

$$\text{caudal}_{\text{molar}}_{\text{H}_2\text{S}} := \frac{P \cdot x6p \cdot \frac{\text{kg}}{\text{day}}}{PM_{\text{H}_2\text{S}}}$$

$$PM_{\text{H}_2\text{S}} := 34 \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$$

Donde $P \cdot x6p$ es el caudal másico de sulfuro de hidrógeno.

$$\text{caudal}_{\text{NO}_3} := 1.6 \cdot \text{caudal}_{\text{molar}}_{\text{H}_2\text{S}}$$

$$PM_{\text{NO}_3} := (16 \cdot 3 + 14) \frac{\text{gm}}{\text{mol}} = 62 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$$

$$\text{caudal}_{\text{NO}_3 \text{ masico}} := \text{caudal}_{\text{NO}_3} \cdot PM_{\text{NO}_3}$$

Dicho nitrato se incorpora a través de la corriente Pe obtenida del proceso de nitrificación.

Corriente de recirculación

Para la correcta alimentación de la biomasa, uno de los factores más importante es el caudal de recirculación, ya que influye en la transferencia entre las fases gas y líquido. De bibliografía se obtiene que el valor de velocidad superficial del liquido de recirculacion optimo (v_{F02}) es de 13,70 m/h para Anillos Pall (CARMONA, 2015). El caudal de la corriente de recirculacion óptimo se obtiene a partir del área del reactor (Area_{F02}) calculado en el capítulo 8, y es igual a 1,77 m².

$$Tr_V := v_{F02} \cdot \text{Area}_{F02}$$

$$Tr := Tr_V \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Hidróxido de sodio

Para controlar el pH en el biofiltro se alimentará con NaOH, debido a que el pH del mismo disminuye al haber una oxidación del H₂S, produciendo sulfato, que libera protones y forma H₂SO₄, necesitando una base para poder regular de manera efectiva nuestro sistema.

Según datos experimentales obtenidos de bibliografía (CARMONA, 2015) la necesidad de NaOH por parte del biofiltro es de 0,78 g NaOH / g S. De esta manera, se calcula la necesidad de hidróxido de

sodio, considerando que se utiliza una solución de 50% P/P con una densidad de 1,52 g/ml.

$$\text{caudalNaOH} = 0.78 \cdot (P \cdot x6p)$$

$$\text{caudal}_{\text{solucionNaOH}} := 2 \cdot \text{caudalNaOH}$$

$$R := \text{caudal}_{\text{solucionNaOH}}$$

En la Tabla 45 se muestra el balance realizado:

Tabla 45. Balance de masa en FIL-01

Balance general: Pe+R+Tr+P=S+T	
Balance de agua (x4)	$Pe^*x4+Tr^*x4+R^*x4=S^*x4$
Balance de nitrógeno (x8)	$Pe^*x8+Tr^*x8+R^*x8=S^*x8$
Balance de potasio (x9)	$Pe^*x9+Tr^*x9+R^*x9=S^*x9$
Balance de fósforo (x10)	$Pe^*x10+Tr^*x10+R^*x10=S^*x10$
Balance de ácido sulfúrico (x13)	$Pe^*x13+Tr^*x13+R^*x13=S^*x13$ + producto de reacción
Balance de azufre (x12)	$Pe^*x12+Tr^*x12+R^*x12=S^*x12$ + producto de reacción
Balance de NaOH (x16)	$Pe^*x16+Tr^*x16+R^*x16=S^*x16$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las características de las corrientes involucradas. Se supone que el resto es agua.

Tabla 46. Composición de corrientes involucradas en FIL-01

FIL-01					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
Pe	Entrada	Nitrato	0,005	63,07	12.581,41
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	8,43	
		NTK	0,0002	2,32	
Tr	Entrada	NTK	0,0002	116,21	581.037,56
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	406,73	
		Hidróxido de sodio	0,0013	755,35	
		Ácido sulfúrico	0,004	2.324,15	
		Azufre	0,0003	174,31	
R	Entrada	Hidróxido de sodio	0,5	16,86	33,72
		Agua	0,5	16,86	
P	Entrada	Agua	0,0417	266,12	6.357,90
		Metano	0,3813	2.427,43	
		Sulfuro de hidrógeno	0,0035	22,25	
		Dióxido de carbono	0,5581	3.544,51	
		Nitrógeno	0,0155	98,21	
T	Salida	Agua	0,042	266,12	6.336,28
		Metano	0,3831	2.427,43	
		Sulfuro de hidrógeno	0	0	
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51	
		Nitrógeno	0,0155	98,55	
S	Salida	NTK	0,0002	118,73	593.674,31
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	415,57	
		Hidróxido de sodio	0,0013	771,78	
		Ácido sulfúrico	0,004	2.374,70	
		Azufre	0,0003	178,10	

Fuente: Elaboración propia

La composición de la corriente T se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 47. Composición de corriente T

Componentes	Fracción volumétrica	Fracción másica	Fracción de vapor	Caudal volumétrico (m ³ /día)	Caudal másico (kg/día)
Metano (CH ₄)	0,605	0,3831	0,98	5.606,00	6.336,28
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,322	0,5594			
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0	0			
Agua (H ₂ O)	0,059	0,042			
Nitrógeno (N)	0,014	0,0155			

Fuente: Elaboración propia

Divisor de corrientes

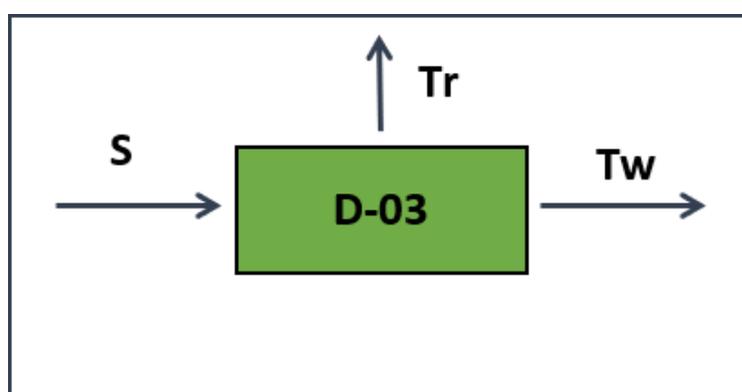


Figura 50. Divisor

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

S: Corriente azufre elemental, ácido sulfúrico, agua, nitrógeno y Biogas.

Tr: Corriente reciclo del biofiltro.

Tw: Corriente azufre elemental, ácido sulfúrico, agua, nitrógeno y Biogas

En la Tabla 48 se muestran los balances realizados:

Tabla 48. Balances de masa en D-03

Balance general: $S=Tr+Tw$
Balance caja Negra (M-03, F-02, D-03): $P_i + P_c + P_r = P_w + Tw + \text{productos de reacción}$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 se observan las características de las corrientes involucradas. Se supone que el resto es agua.

Tabla 49. Composición de corrientes involucradas en D-03

D-03					
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Total (kg/día)
S	Entrada	NTK	0,0002	118,73	593.674,31
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	415,57	
		Hidróxido de sodio	0,0013	771,78	
		Ácido sulfúrico	0,004	2.374,70	
		Azufre	0,0003	178,10	
Tr	Entrada	NTK	0,0002	116,21	581.037,56
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	406,73	
		Hidróxido de sodio	0,0013	755,35	
		Ácido sulfúrico	0,004	2.324,15	
		Azufre	0,0003	174,31	
Tw	Salida	NTK	0,0002	2,32	12.636,75
		Fósforo	0	0	
		Potasio	0,0007	8,43	
		Hidróxido de sodio	0,0013	16,86	
		Ácido sulfúrico	0,004	49,85	
		Azufre	0,0003	4,07	

Fuente: Elaboración propia

Compresor

El objetivo es aumentar la presión para lograr la separación del agua de la corriente gaseosa de biogás. La presión se aumenta a 6 atm, lo cual produce un incremento de la temperatura a 170,35°C.



Figura 51. Compresor
Fuente: Elaboración propia

Donde:

T: Corriente de biogas sin H₂S.

Ui: Corriente de biogas sin H₂S.

En la Tabla 50 se muestra el balance realizado:

Tabla 50. Balance de masa en K-01

Balance general: T=Ui

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 51 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 51. Composición de corrientes involucradas en K-01

Corriente	Tipo de corriente	Componentes	Fracción másica	Fracción de vapor	Caudal másico (kg/día)
T	Entrada	Metano	0,3831	0,98	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594		
		Sulfuro de hidrógeno	0		
		Agua	0,042		
		Nitrógeno	0,0155		
Ui	Salida	Metano	0,3831	1	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594		
		Sulfuro de hidrógeno	0		
		Agua	0,042		
		Nitrógeno	0,0155		

Fuente: Elaboración propia

Intercambiador de calor

En esta etapa se aprovecha el calor liberado por la corriente Ui para enfriarse desde 170,35°C hasta 72,66 °C, para calentar la corriente li utilizada posteriormente en el M-01 para lograr las condiciones adecuadas de temperatura y humedad al ingreso del reactor R-01.

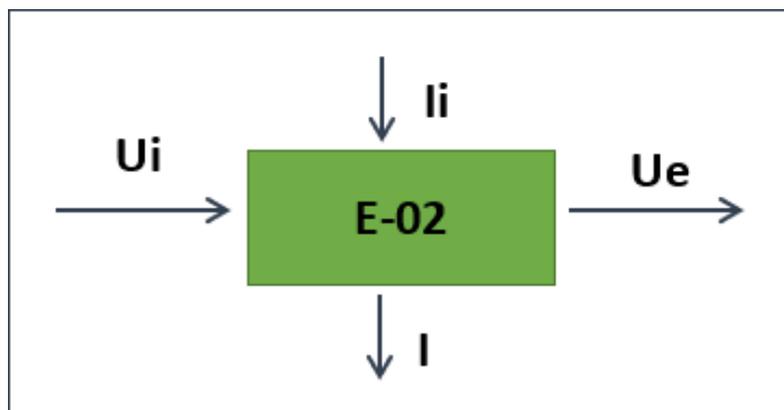


Figura 52. Intercambiador de calor

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Ui: Corriente de biogas sin H₂S.

Ue: Corriente de biogas sin H₂S.

li: Corriente de agua.

I: Corriente de agua.

En la Tabla 52 se muestran los balances realizados:

Tabla 52. Balances de masa en E-02

Balance general: $U_i=U_e$
$l_i=l$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 53 se observan las características de las corrientes involucradas

Tabla 53. Composición de corrientes involucradas en E-02

E-02							
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Fracción vapor	Temperatura (°C)	Total (kg/día)
U _i	Entrada	Metano	0,3831	2.427,43	1	170,35	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51			
		Sulfuro de hidrógeno	0	0			
		Agua	0,042	266,12			
		Nitrógeno	0,0155	98,21			
l _i	Entrada	Agua	1	3.940,32	-	18	3.940,44
U _e	Salida	Metano	0,3831	2.427,43	0,99	72,66	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51			
		Sulfuro de hidrógeno	0	0			
		Agua	0,042	266,12			
		Nitrógeno	0,0155	98,21			
I	Salida	Agua	1	3.940,32	-	78,56	3.940,44

Fuente: Elaboración propia

Intercambiador de calor

En esta etapa, la disminución de la temperatura de U_e se realiza por medio de agua de enfriamiento con la finalidad de disminuir la temperatura de la corriente gaseosa hasta 20°C.

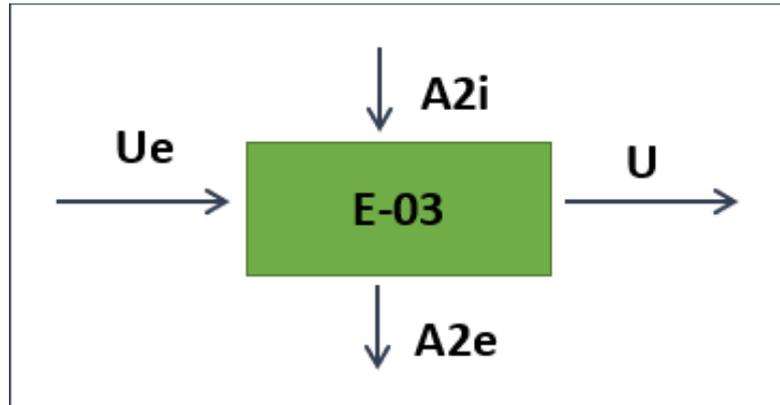


Figura 53. Intercambiador de calor
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Ue: Corriente de biogas sin H₂S.

U: Corriente de biogas sin H₂S

A2e: Corriente de agua.

A2i: Corriente de agua.

En la Tabla 54 se muestra el balance realizado:

Tabla 54. Balances de masa en E-03

Balance general: $Ue=U$
$A2i=A2e$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 55 se observan las características de las corrientes involucradas

Tabla 55. Composición de corrientes involucradas en E-03

E-03							
Corriente	Tipo de corriente	Componente	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Fracción vapor	Temperatura (°C)	Total (kg/día)
Ue	Entrada	Metano	0,3831	2.427,43	0,99	72,66	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51			
		Sulfuro de hidrógeno	0	0			
		Agua	0,042	266,12			
		Nitrógeno	0,0155	98,21			
A2i	Entrada	Agua	1	128.720,4	-	18	128.720,4
U	Salida	Metano	0,3831	2.427,43	0,945	20	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51			
		Sulfuro de hidrógeno	0	0			
		Agua	0,042	266,12			
		Nitrógeno	0,0155	98,21			
A2e	Salida	Agua	1	128.720,4	-	20	128.720,4

Fuente: Elaboración propia

Separación de agua

La corriente resultante de biogás se dirige hacia una trampa de vapor donde se termina de eliminar casi por completo el agua.

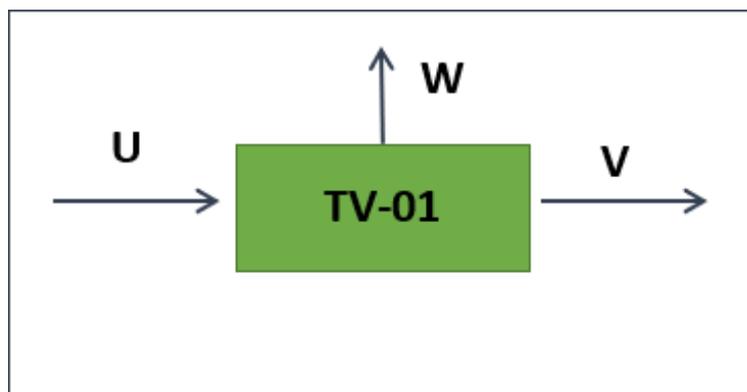


Figura 54. Tanque Flash
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

U: Biogás

W: Agua

V: Biogás concentrado.

En la Tabla 56 se muestran los balances realizados:

Tabla 56. Balances de masa en TV-01

Balance general: $U=W+V$	
Balance de agua (x4)	$U \times 4 = W \times 4 + V \times 4$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 57 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 57. Composición de corrientes involucradas en TV-01

TV-01						
Corriente	Tipo de corriente	Componentes	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Fracción de vapor	Caudal másico (kg/día)
U	Entrada	Metano	0,3831	2.427,43	0,945	6.336,28
		Dióxido de carbono	0,5594	3.544,51		
		Sulfuro de hidrógeno	0	0		
		Agua	0,042	266,12		
		Nitrógeno	0,0155	98,21		
V	Salida	Metano	0,3988	2.427,43	1	6.086,88
		Dióxido de carbono	0,5823	3.544,51		
		Sulfuro de hidrógeno	0	0		
		Agua	0,0027	16,72		
		Nitrógeno	0,01611	98,21		
W	Salida	Agua	1	249,40	0	249,40

Fuente: Elaboración propia

La composición de la corriente V se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 58. Composición de corriente V

Componentes	Fracción volumétrica	Fracción másica	Fracción de vapor	Caudal volumétrico (m ³ /día)	Caudal másico (kg/día)
Metano (CH ₄)	0,6404	0,3988	1	5.296,05	6.086,88
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,3408	0,5823			
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0	0			
Agua (H ₂ O)	0,0039	0,0027			
Nitrógeno (N)	0,0142	0,0161			

Fuente: Elaboración propia

Enriquecimiento o valorización del Biogás

En esta etapa se utilizan un conjunto de torres de Adsorción- Desorción, equipo PSA, con el fin de obtener Biometano. Según datos bibliográficos se logra remover el 99 % de CO₂, con pérdidas de metano del 3,5%. Por otro lado, el nitrógeno y el agua restante se adsorben completamente.

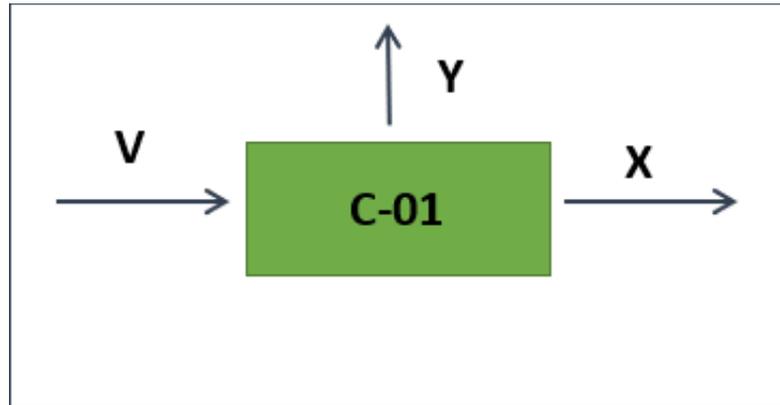


Figura 55. Sistema PSA
Fuente: Elaboración propia

Dónde:

V: Biogas concentrado

Y: Gases

X: Biometano y Dióxido de carbono

En la Tabla 59 se muestran los balances realizados:

Tabla 59. Balances de masa en C-01

Balance general: V=Y+X	
Balance de masa de agua (x4)	$V \cdot x4v = Y \cdot x4y + X \cdot x4x$
Balance de metano (x5)	$V \cdot x5v = Y \cdot x5y + X \cdot x5x$
Balance de dióxido de carbono (x7)	$V \cdot x7v = Y \cdot x7y + X \cdot x7x$
Balance de nitrógeno (x8)	$V \cdot x8v = Y \cdot x8y + X \cdot x8x$

Fuente: Elaboración propia

El sistema se resuelve de la siguiente manera:

$$PM_V := 25.77$$

$$perdidasdeCH4 := 0.035 \cdot x5v_v \cdot V_{molar}$$

$$PM_X := 16.19$$

$$PM_Y := 41.4$$

Balance general

$$V_{molar} \cdot PM_V = X_{molar} \cdot PM_X + Y_{molar} \cdot PM_Y$$

Balance de componentes

$$V_{molar} \cdot x5v_v = Y_{molar} \cdot x5y_v + x5x_v \cdot X_{molar}$$

$$V_{molar} \cdot x7v_v = X_{molar} \cdot x7x_v + Y_{molar} \cdot x7y_v$$

$$Y_{molar} \cdot x5y_v = perdidasdeCH$$

$$X_{molar} \cdot x7x_v = 0.01 \cdot x7v_v \cdot V_{molar}$$

$$= \frac{x7x_v + x5x_v}{1}$$

En la Tabla 60 se observan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 60. Composición de corrientes involucradas en C-01

C-01						
Corriente	Tipo de corriente	Componentes	Fracción másica	Caudal (kg/día)	Fracción de vapor	Caudal másico (kg/día)
V	Entrada	Metano	0,3988	2.427,43	1	6.086,88
		Dióxido de carbono	0,5823	3.544,51		
		Sulfuro de hidrógeno	0	0		
		Agua	0,0027	16,72		
		Nitrógeno	0,01611	98,21		
Y	Salida	Metano	0,0229	84,95	1	3.709,90
		Dióxido de carbono	0,9446	3.504,28		
		Sulfuro de hidrógeno	0	0		
		Agua	0,0061	22,63		
		Nitrógeno	0,0264	97,94		
X	Salida	Metano	0,985	2.340,22	1	2.375,86
		Dióxido de carbono	0,015	35,64		

Fuente: Elaboración propia

La composición de la corriente X se presenta en la siguiente tabla

Tabla 61. Composición de corriente X

Componentes	Fracción volumétrica	Fracción másica	Fracción de vapor	Caudal volumétrico (m ³ /día)	Caudal másico (kg/día)
Metano (CH ₄)	0,9945	0,985	1	3.286,80	2.375,86
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,0055	0,015			

Fuente: Elaboración propia

7.4. Balance de Energía

7.4.1. Mezcladores

ME-01

Ingresa una corriente de Agua a T_I con el fin de elevar de manera óptima la temperatura del sustrato hasta T_M .

Donde:

$$T_I = 78,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_M = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_L = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_H = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El Cp del biogás se obtiene de la base de datos del simulador CHEMCAD, mientras que el Cp de digestato y de FORSU se obtiene de bibliografía

$$PM_K = 25.64 \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$$

$$Cp_K := 8.74 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1}{PM_K} = 0.34 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Cp_J := 353 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Cp_H := \frac{2362}{T_H} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

El calor que se necesita para aumentar la temperatura de H hasta 50°C debe ser igual al calor aportado por el agua que ingresa en la corriente I.

La entalpía necesaria para que la corriente que ingresa al mezclador alcance la temperatura T_M es la siguiente

$$HH := H \cdot [Cp_H \cdot (T_M - T_H)] \cdot \text{kg} = 6.12 \times 10^6 \cdot \text{kcal}$$

Se supone una temperatura de I hasta que el sistema converge

$$T_I := 351.7 \quad \text{K}$$

Dado

El Cp de agua líquida se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación

$$Cp_I = \frac{\left(\int_{323}^{T_I} 0.0000015852T^3 dT - \int_{323}^{T_I} T^2 \cdot 0.0016916dT + \int_{323}^{T_I} 0.6578 \cdot T dT + \int_{323}^{T_I} 51.76 dT \right)}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

$$Cp_I := \text{Find}(Cp_I) \rightarrow \frac{4077.099724699015809}{\text{K}^{1.0} \cdot \text{mol}^{1.0}}$$

$$\text{K}^{1.0} \cdot \text{mol}^{1.0}$$

$$PM_{H2O} := 18 \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$$

La entalpía que entrega la corriente I se calcula de la siguiente manera

$$HI := I \cdot \text{kg} \cdot \frac{[Cp_I \cdot (T_M - T_I \cdot \text{K})]}{PM_{H2O}} = -6.12 \times 10^6 \cdot \text{kcal}$$

Los valores de HH y HI coinciden por lo que la temperatura de I es 78,71°C y el calor intercambiado es de 255.013,43 kcal/h .

ME-02

Ingresará una solución de CaCO₃ a temperatura ambiente con la finalidad de disminuir la temperatura de la corriente Pi desde 50°C hasta 30°C para que ingrese al sistema de nitrificación. El sistema se

simula en el programa CHEMCAD.

Donde:

$$T_{Pi} = 50^{\circ}C$$

$$T_{PC} = 21^{\circ}C$$

$$T_{pt} = 30^{\circ} C$$

Calor intercambiado: 3.411,27 kcal/h

De esta manera se calcula por medio del simulador, la cantidad de agua que será necesaria incluir a la solución de $CaCO_3$ que se encuentra a temperatura ambiente ($21^{\circ}C$) para lograr la temperatura final requerida. Además, se extrae la densidad de la solución, la cual es igual a $1.054,83 \text{ kg/m}^3$

$$P_{H_2O} := 375.55 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$P_c := P_{CaCO_3} + P_{H_2O} = 9463.7 \frac{\text{kg}}{\text{day}}$$

7.4.2. Intercambiadores de calor

E-01

En esta etapa se disminuye la temperatura, T_o de la corriente gaseosa hasta T_p , mediante agua de enfriamiento a T_{Ai} . El sistema se simula en el programa CHEMCAD.

Donde:

$$T_o = 50^{\circ}C$$

$$T_p = 30^{\circ} C$$

$$T_{Ai} = 18^{\circ} C$$

$$T_{Ae} = 22^{\circ} C$$

Calor intercambiado: 3.751,29 kcal/h

Agua de enfriamiento: 22.491,60 kg/día

K-01

Se comprime hasta 6 atm con el objetivo de condensar el agua, lo cual provoca que la temperatura de la corriente aumente desde T_T hasta T_{Ui} .

$$P_T = 1 \text{ atm}$$

$$T_T = 30^{\circ} C$$

$$P_{Ui} = 6 \text{ atm}$$

$$T_{Ui} = 170,35^{\circ}C$$

E-02

La corriente de gas acondicionada de temperatura T_{Ui} se reduce hasta T_{Ue} , mediante agua a T_{li} para luego ser utilizada en el mezclador M-01.

Donde:

$$T_{Ui} = 170,35^{\circ}C$$

$$T_{Ue} = 72,66^{\circ} C$$

$$P_{ui} = 6 \text{ atm}$$

$$T_{li} = 18^{\circ} C$$

$$T_l = 78,56^{\circ} C$$

Calor intercambiado: 9932,11 kcal/h

E-03

Con el fin de reducir la temperatura de la corriente Ue hasta T_u , se utiliza agua de enfriamiento denominada A_2 .

Donde:

$$T_{Ue} = 72,66^{\circ}C$$

$$T_U = 20^{\circ}C$$

$$P_{ue} = 6 atm$$

$$T_{A2e} = 18^{\circ}C$$

$$T_{A2i} = 20^{\circ}C$$

Calor intercambiado: 10.733,9 kcal/h

Agua de enfriamiento: 128.720 kg/día

En la Tabla 62 se presentan los resultados del balance de energía.

Tabla 62. Resumen de resultados del balance de energía

Corriente	Fluido	Temperatura (°C)	Presión (atm)
A	FORSU	21	1
B	Plásticos y vidrios	21	1
C	FORSU	21	1
D	Plásticos y vidrios	21	1
E	FORSU	21	1
F	Metales	21	1
G	FORSU	21	1
H	FORSU	21	1
I	Agua entrada M-01	78,7	1
L	Reciclo digestato	50	1
M	Corriente entrada R-01	50	1
K	Biogás	50	1
N	Digestato	50	1
J	Digestato	50	1
J1	Digestato solido	50	1
J2	Digestato líquido	50	1
J4	Digestato solido	21	1
J3	Digestato líquido	50	1
Pi	Digestato líquido	50	1
Pc	Solución de CaCO ₃	21	1
Pr	Reciclo R-03	30	1
Pt	Entrada R-03	30	1
PAi	Aire	21	1
Pw	Purga R-03	30	1
Ps	Salida R-03	30	1
Pe	Salida reactor R-03	30	1
R	Solución de NaOH	20	1
O	Biogás	50	1
P	Biogás	30	1
Ae	Agua	18	1
Ai	Agua	22	1
Tr	Reciclo F-02	30	1
T	Entrada F-02	30	1
S	Corriente Sulfurada	30	1
Tw	Purga F-02	30	1
Te	Corriente desulfurada	30	1
Ui	Corriente desulfurada comprimida	170,35	6
Ue	Corriente desulfurada comprimida y enfriada	77,66	6
li	Agua de proceso y enfriamiento	18	1
A2e	Agua de enfriamiento	20	1
A2i	Agua	18	1
U	Corriente desulfurada	20	6
V	Corriente desulfurada, sin agua	20	6
W	Agua eliminada de corriente gaseosa	20	6
Y	Mezcla de gases, CO ₂ 89%	20	6
X	Biometano	20	6

Por último, en la Tabla 63, se presenta un resumen de las corrientes que ingresan al proceso y los productos que se obtienen del mismo. Se detalla el balance diario y anual promedio y el consumo o producto obtenido por cada m³ de metano.

Tabla 63. Resumen de corrientes ingresantes y salientes de proceso

Corriente	Balance diario	p/m ³ de Metano Unitario	Balance anual
FORSU sin acondicionar (A)	20.002,22 kg/día	9,22 kg/m ³	7.300,81 t/año
Digestato sólido (J4)	6.914,86 kg/día	3,19 kg/m ³	2.523,92 t/año
Digestato líquido (J3)	7.937,84 kg/día	3,66 kg/m ³	2.897,31 t/año
CaCO ₃ sólido (Pc)	337,88 kg/día	0,16 kg/m ³	123,33 t/año
NaOH solución 50% (R)	25,29 kg/día	0,01 kg/m ³	9,23 t/año
Metano 99% (X)	2.169,36 m ³ /día	1 m ³ /m ³	791.816,40 m ³ /año
	1.782,86 kg/día		650,74 t/año
Dióxido de carbono 89% (Y)	2784 kg/día	1,28 kg/m ³	1.016,16 t/año

Fuente: Elaboración propia

8. Diseño y adopción de equipos

En este capítulo se procede al diseño y adopción de los equipos necesarios para la producción de biometano. Para realizar esto, hay que basarse en el análisis de los parámetros que influyen en las operaciones involucradas en el proceso, entre los cuales se destacan presión, temperatura, caudal y propiedades físicas y químicas de las corrientes, para lograr así escoger el equipo más adecuado.

Generalmente, se adopta un equipo de tamaño estándar existente en el mercado, que cumpla con los requisitos impuestos por cada operación y que a la vez sea seguro, económico, flexible y de fácil mantenimiento y operación.

A modo de introducción, en la Figura 56, se esquematiza el proceso, mientras que, en la Tabla 64 se expone un diagrama del proceso, con los equipos y corrientes intervinientes y sus respectivos códigos.

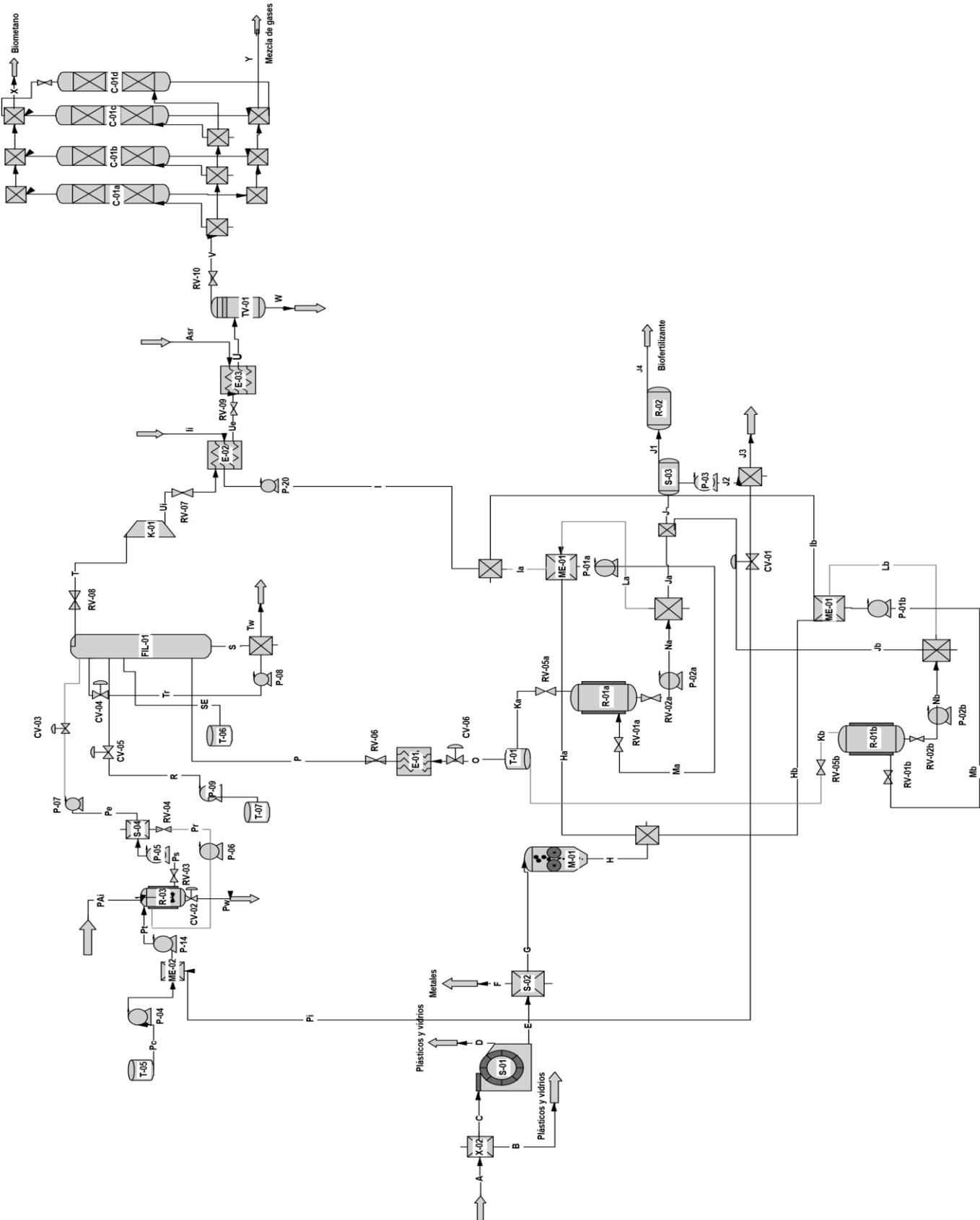


Figura 56: Esquema de proceso
Fuente: Elaboración propia

8.1. Referencias

Tabla 64. Codificación de equipos

Código	Equipo	Especificaciones
X-02	Cinta transportadora para inspección visual	Eliminar plásticos
S-01	Separador mecánico mediante tamiz vibratorio	Separar sólidos indeseados
S-02	Separador magnético	Eliminar metales
M-01	Molino de martillo	Disminuir el tamaño de sólidos
ME-01	Mezclador	Mezclar FORSU, agua y digestato recirculado
R-01	Reactor anaeróbico	Reacción biológica anaeróbica
S-03	Separador mecánico sólido-líquido	Separar agua del digestato sólido
R-02	Estabilizador	Reacción biológica aeróbica
T-01	Tanque de almacenamiento de gas	Almacenar biogás
E-01	Intercambiador de calor	Enfriar el biogás para el ingreso al biofiltro
ME-02	Mezclador	Mezclar líquidos para homogenizar temperatura.
R-03	Reactor aeróbico	Reacciones de nitrificación aeróbicas
S-04	Separador por gravedad sólido-líquido	Separar los lodos de la corriente líquida para recircularlos al reactor aeróbico
FIL-01	Filtro biológico	Eliminar el H ₂ S de la corriente de biogás
K-01	Compresor	Comprimir el biogás para lograr la eliminación del agua.
E-02	Intercambiador de calor	Disminuir la temperatura del Biogás mediante recuperación de calor
E-03	Intercambiador de calor	Disminuir la temperatura del Biogás para lograr eliminar el agua de la corriente gaseosa
TV-01	Trampa de vapor	Eliminar el agua del Biogás
C-01	Sistema PSA integrado por 4 torres	Eliminar el CO ₂ de la corriente de Biogás
T-05	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de CaCO ₃ 5%
T-06	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de CaNO ₃ 51%
T-07	Tanque de almacenamiento	Almacenar solución de NaOH 50%
T-08	Laguna de almacenamiento	Almacenar digestato líquido
T-09	Tanque de almacenamiento	Almacenar residuo líquido

Fuente: Elaboración propia

8.2. Adopción y diseño de equipos

8.2.1. Adopción de zaranda vibratoria- S-01

La FORSU provenientes del depósito de almacenamiento se mueven hacia una sección de inspección visual, por medio de una cinta transportadora y desde allí hacia una zaranda vibratoria, logrando una corriente sin plásticos y vidrios, hasta un detector de metales.

El funcionamiento es el siguiente: los productos sólidos caen hacia la parte superior de la zaranda, la misma consta de una malla de 60 mm, la cual retiene partículas de mayor tamaño y a través de la fuerza vibratoria permite la segregación de partículas finas a la parte inferior.

A continuación, se exponen las características de la zaranda vibratoria seleccionada.

Tabla 65. Características de la zaranda vibratoria

Característica	Valor
Potencia del moto vibrador	0,86 kW
Caudal de alimentación	1300 kg/h
Apto para limpieza CIP	Si
Material en contacto con la mezcla	Acero inoxidable
Altura	1055 mm
Diámetro	845 mm

Fuente: VIBROTECH. En línea: <https://vibrotech.com.ar/instructivos/catalogo-zarandas-circulares-zcm-v5.pdf> - <https://vibrotech.com.ar/imagenes/pdf/MVE.pdf>



Figura 57: Zaranda vibratoria

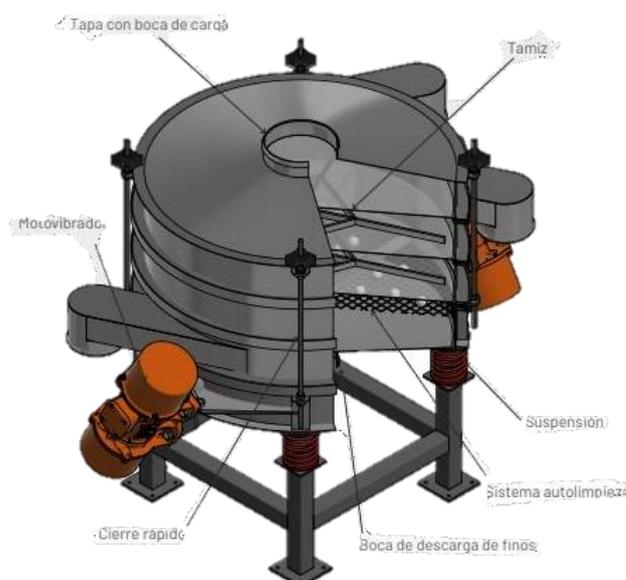


Figura 58. Esquema del interior de la zaranda vibratoria
 Proveedor: Vibrotech, Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina. Modelo ZCM-900-2.

8.2.2. Separador Magnético S-02

La corriente de FORSU proveniente de la zaranda vibratoria, movilizada mediante una cinta transportadora, ingresa, por medio de una tolva, al separador magnético, el cual termina de extraer los materiales impropios.

El mismo funciona de la siguiente manera: los productos solidos ingresan por la parte superior y son movilizadas por medio de dos rodillos subsecuentes, los cuales atraen a los metales y los arrojan hacia una tolva inferior, logrando separar la FORSU por la parte frontal inferior, tal como se observa en la Figura 59.

A continuación, se exponen las características del separador magnético seleccionado.

Tabla 66: Característica del separador magnético

Característica	Valor
Potencia del motor	4 kW
Caudal de alimentación	500-2000 kg/h
Apto para limpieza CIP	Si
Material en contacto con la mezcla	Acero inoxidable
Altura	2000 mm
Largo	2000 mm
Ancho	1000 mm
Diámetro de rodillo	150 mm

Fuente: Hengjie magnetism. En línea: <https://www.magneticseparatorchina.cn/ProductView.asp?ID=74>

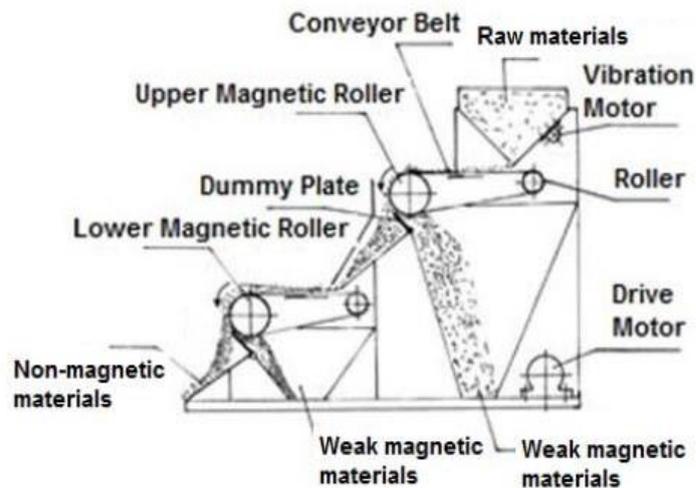


Figura 59. Esquema de separador magnético
Fuente: Hengjie magnetism



Figura 60. Separador Magnético
Proveedor: Hengjie magnetism. Modelo CFLJ 150-1000/1000

8.2.4. Molino de Martillos M-01

Se necesita que la FORSU sin materiales impropios tenga una granulometría adecuada 2- 3 mm, por ende, al salir del separador magnético es trasladada por medio de una cinta transportadora, ingresando por medio de una tolva en forma de cono truncada a un molino de martillos el cual es apto para procesar residuos biológicos y biogénicos y así lograr obtener un sustrato de fermentación óptimo para su posterior reutilización.

El mismo cuenta con un ventilador incorporado al molino, permite que la materia prima y triturada, se transmita por todo el sistema. La capacidad de transporte depende del tamaño del motor y del número de aletas del ventilador en el molino. El material triturado egresa del equipo por el centro del mismo y cae dentro de un tornillo helicoidal para transportarlo hacia el almacenamiento.

A continuación, se exponen las características del molino de martillos.

Tabla 67. Características del molino de martillos

Característica	Valor
Potencia	11-18,5 kW
Caudal de alimentación	1000-1500 kg/h
Apto para limpieza CIP	Si
Material en contacto con la mezcla	Acero inoxidable
Altura	956,5 mm
Diámetro	700 mm
Largo	430 mm

Fuente: BRONNER GROUP S.A. En línea: <http://www.skiold-lat.com/pulverizacion-y-molienda/>



Figura 61. Molino de Martillos

Proveedor: BRONNER GROUP S.A, sucursal Cordoba, Argentina. Modelo DM3(4)

8.2.5. Adopción de mezclador sólido – líquido ME-01

La FORSU granulada dispuesta en almacenamientos, se divide en dos corrientes y se transporta por medio de un tornillo sin fin hacia dos mezcladores sólido-líquido en línea que operan en paralelo, en los cuales ingresa digestato recirculado y agua a temperatura elevada, creando un flujo continuo y homogéneo de baja caída de presión, hasta los biodigestores.

Los sustratos se adicionan en sus correspondientes cantidades a fin de lograr, por medio del mezclado, una correcta dilución de los nutrientes, temperatura y homogeneidad en los valores de pH.

El funcionamiento es el siguiente: los productos sólidos son colocados en la tolva ubicada directamente en la aspiración del mezclador. El líquido de alimentación entra por un orificio tangencial. Ambos son arrastrados por un impulsor rotativo especial que lo mezcla y proyecta sobre una grilla fija antes de salir de la cámara. Este diseño asegura un producto final homogéneo. La mezcla egresa por la parte inferior del equipo y es transportado por medio de una bomba apta para sólidos suspendidos hacia el reactor.

A continuación, se exponen las características del mezclador seleccionado.

Tabla 68. Características del mezclador sólido- líquido

Característica	Valor
Potencia del motor	3,73 KW
Caudal de alimentación de solidos	Hasta 4000 kg/h
Caudal de alimentación de líquidos	Hasta 40 m ³ /h
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Acero inoxidable ASI 304-316
Altura	90 cm
Ancho	35 cm
Largo	70 cm

Fuente: SIMES S.A. En línea: www.simes-sa.com.ar



Figura 62. Mezclador sólido – líquido

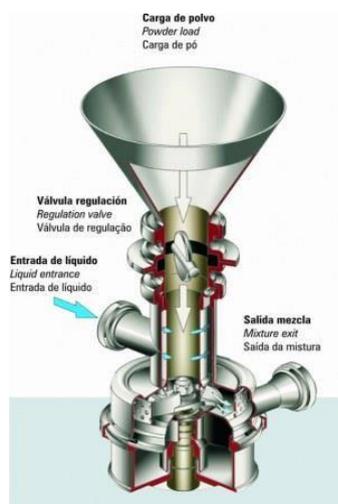


Figura 63. Esquema del interior del mezclador sólido – líquido
 Proveedor: SIMES S.A., Santa Fe, Argentina. Modelo M-3.

8.2.6. Diseño de reactor anaerobio – R-01

Las corrientes provenientes de cada mezclador ingresan por la parte inferior de los reactores, en los cuales, mediante condiciones óptimas de temperatura, pH y demás, se da el proceso de digestión

anaeróbica, obteniéndose dos productos, biogás y digestato. El funcionamiento del equipo fue explicado en el capítulo 6.



Figura 64: Vista interna de digestor anaerobio
Fuente: (Organic Waste System, 2010)

Diseño del reactor

Existen varios modelos de reactores anaeróbicos aptos para tratar FORSU, en este caso se decidió basar el diseño en el modelo DRANCO, el cual se considera el más apropiado para el sustrato utilizado, como se detalló en el capítulo 6.

Se utilizan dos parámetros para poder calcular el volumen del reactor, la Tasa de Carga Orgánica (TCO) y el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH). Donde la primera indica la cantidad de SV introducidos al reactor, expresado como kg de SV por m³ al día, en reactores continuos de mezcla completa, el rango de TCO apropiado es de 2 a 3 kg de SV por m³ al día; en cambio, para reactores de tipo flujo pistón, como el actual, la carga puede superar los 10 kg de SV por m³ al día. En el caso del TRH, su valor se encuentra entre los 20-30 días, para reactores de flujo pistón.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

TRH = tiempo de retención hidráulico (días)= 21

V = volumen del reactor (m³)

Q = caudal de sustrato de la corriente H (m³/h)

El desarrollo de los calculos correspondientes al diseño se encuentran en el anexo 4.

Se decide optar por el uso de dos reactores, debido a la eleccion de un proceso continuo, evitado asi paradas de mantenimiento, ya que para retomar la puesta en marcha del reactor se necesitan 3 meses de inoculacion del mismo. De esta manera el volumen correspondiente a cada reactor es el siguiente:

$$V = 367,77 \text{ m}^3$$

Este es el volumen que ocupara la mezcla, sin embargo se decide agregar un margen de seguridad del 5 % para contemplar las oscilaciones del proceso.

$$V = 386,16 \text{ m}^3$$

$$TCO = \frac{SV}{V}$$

Dónde:

SV = Sólidos Volátiles (kg/día)

$TCO = 20,36 \text{ kg}/(\text{día} * \text{m}^3)$

Como se observa el TCO coincide con lo mencionado anteriormente.

El reactor anaeróbico en la parte inferior tiene forma cónica, como ya se detalló anteriormente en el capítulo 6. A fin de simplificar los cálculos se toma el formato de un cilindro de bases planas, se procede tanteando valores de diámetro (D) y altura (h), que permitan obtener una buena relación h/D, generalmente entre 1,5-2, que asegure la estabilidad de la estructura y logren una cámara de gas superior de aproximadamente 2 m sobre el pelo del nivel vivo.

Esto nos da como resultado un tanque de 6,5 m de diámetro interno y 11,64 m de alto, configurando un recipiente de volumen máximo de aproximado de 386,16 m³.

Tabla 69. Criterios de diseño del reactor

Criterios de diseño	
TRH	21 días
H/D (relación altura/ diámetro del reactor)	1,79
Número de reactores	2

Fuente: Elaboración propia.

En base a esta primera aproximación se procede a calcular las dimensiones del reactor anaeróbico con la forma cónica incluida. Se opta por tomar un 95% de la altura total, calculada anteriormente, para la altura de cilindro, mientras que el resto corresponde al cono. De esta manera se obtiene:

Altura_{cilindro}=11,06 m

Altura_{cono}= 1,75 m

V_{cono}=19,31m³

V_{cilindro}=366,97 m³

En cuanto a los requisitos del calor, solo necesita estar aislado para mantener la temperatura en el digestor durante varios días sin ralentizar el proceso biológico. Debido a que la temperatura del digestor se mantiene intercambiando calor con una corriente de agua caliente, en la parte de mezcla del digestor. Por ende, los requisitos de calor se mantienen en un mínimo absoluto porque solo el alimento fresco entrante debe calentarse hasta la temperatura de funcionamiento. Además, las pérdidas de calor son mínimas en el digestor debido a la alta concentración de sólidos que reduce en gran medida las pérdidas por convección. En realidad, se puede observar que los digestores de alto contenido de sólidos que operan a altas tasas de carga aumentan de temperatura debido a la energía exotérmica liberada durante la descomposición anaeróbica, esta cantidad de energía exotérmica estará bastante limitada a un par de grados Celsius, sin existir peligro de sobrecalentamiento.

La aislación del reactor puede efectuarse internamente o externamente, en relación a las paredes del mismo. Las lanas minerales y las espumas plásticas son los materiales mayormente utilizados para este fin. Como regla general, se busca lograr valores de transmitancia térmica de 0,3 W/m²*K para procesos mesófilos y de 0,2 W/m²*K o menos para procesos termófilos. (Wellinger et al, 2013)

A continuación, se efectúa el cálculo del espesor del aislamiento térmico. Este procedimiento se basa en las fórmulas y valores de tabla presentes en la Norma IRAM 11601:2002 "Aislamiento térmico de

edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario”.

Consideramos un reactor cilíndrico vertical construido con un sistema de capas homogéneas, cuyo ordenamiento (en sentido interior-exterior) y parámetros de cálculo son los siguientes:

- Capa 1. Acero inoxidable de espesor, 0,9 cm
- Capa 2. Placa de poli estireno expandido de espesor, 23,19 cm.
- Capa 3. Chapa galvanizada acanalada de espesor, 0,15 cm.

Estas características aplican a la base, lateral y techo del reactor anaeróbico.

Tabla 70. Detalles del reactor cónico

Parámetro	Valor	Unidad
Altura total	12,80	m
Volumen total	386,28	m ³
Diámetro	6,50	m
TRH	21	día
TCO	20,36	kg /m ³ día
Material interno	Acero Inoxidable 316	-
Material externo	Chapa galvanizada acanalada	
Material aislante	poli estireno expandido	

Fuente: Elaboración propia.

El interior del reactor anaeróbico consta de tres tubos, por donde ingresa el sustrato desde las tuberías de alimentación, fluye hacia la parte superior de la masa de digestión en el digestor y desciende por la acción de la gravedad. Los mismos cortan el cono en la parte inferior del digestor y alcanzan una distancia de aproximadamente 1 m desde el techo dentro del digestor.

Altura_{tubo}=11,80 m

El digestato producido es descartado continuamente, evitando acumulaciones en el digestor. El reactor cuenta un sistema de válvula- tubo de descarga en el fondo, que permite tomar muestras y analizar la eficiencia de la reacción y el crecimiento y calidad de la biomasa. En cuanto al biogás producido, fluye desde la parte superior del reactor, mediante una tubería hacia el sistema de almacenamiento.

8.2.7. Adopción de Gasómetro T-01

Las corrientes de gas que salen de los biodigestores son enviadas hacia el sector de almacenamiento, denominado gasómetro autónomo. El mismo está compuesto por una membrana exterior moldeada, así como por una membrana interior y una membrana de fondo que constituyen el espacio de almacenamiento para el gas.

Un soplante de aire de apoyo en funcionamiento permanente transporta el aire al espacio entre la membrana externa y la membrana interna para mantener la presión constante de forma independiente a la toma o suministro del gas. La presión en el espacio entre las membranas da la forma a la membrana externa. Esto permite que el gasómetro pueda resistir diversas cargas externas. Al mismo tiempo se ejerce presión en la membrana interior forzando el paso del gas hacia la red de conductos.

A continuación, se exponen las características del Gasómetro seleccionado.

Tabla 71. Características del gasómetro

Característica	Valor
Caudal volumétrico	Hasta 376 m ³ /h
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Membrana poliéster recubierto de PVC
Altura	5,50 m
Diámetro	11 m

Fuente: Manantial Sattler. En línea:

<http://www.manantial.cl/detalle/Tecnolog%C3%ADas/Biogas/Gasometros/67/gasometros-de-doble-membrana-sattler>

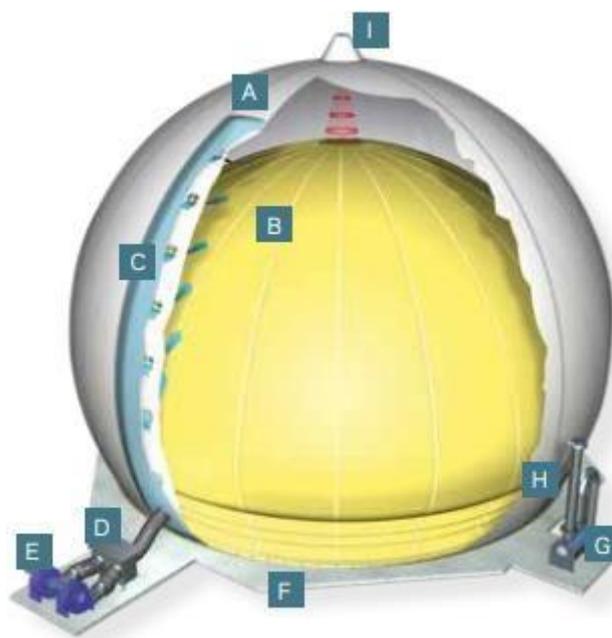


Figura 65. Esquema interior del Gasómetro. Referencias: A: Membrana externa; B: Membrana interna; C: Sistema de reparación de aire; D: Válvula anti retorno; E: Soplador de aire de refuerzo; F: Anclaje de membranas; G: Válvula de seguridad hidráulica; H: Ventana de inspección; I: Sensor de nivel por ultrasonidos
Proveedor: SATTLER CENO, Alemania. Modelo: Semi esfera -BA100 109/205

8.2.8. Cálculo y adopción de intercambiadores de calor

Intercambiador de calor- E-01

La corriente de biogás proveniente del gasómetro, debe ser refrigerada antes de ingresar al biofiltro. Se lleva a cabo por medio de una corriente de agua, proveniente de la torre de enfriamiento, logrando una temperatura óptima de 30 °C.

Los caudales y temperaturas se detallan en el capítulo de balance de masa y energía.

El intercambiador adoptado es un equipo de placas, que presenta las siguientes especificaciones:

Tabla 72. Detalles del intercambiador de calor diseñado

Intercambiador de calor 1-1	
Fluido frio	Agua
Fluido caliente	Biogás
Área efectiva	0,20 m ²
Ancho	0,09 m
Altura	0,71 m
Espacio entre placas	0,10 cm
Número de placas	5
Pasos de fluido frio	1
Angulo de corrugado de placa	35°
Velocidad de fluido frio	1,02 m/s
Velocidad de fluido caliente	0,58 m/s
Diámetro externo- interno de boquilla de fluido frio	2,70 cm
Diámetro externo- interno de boquilla de fluido caliente	1,35 cm

Fuente: Elaboración propia. El diseño se realizó a base de cálculos detallados en KERN, Donald Q., "Procesos de Transferencia de calor", Trigésima primera reimpresión, México, 1999

Intercambiador de calor- E-02 y E-03

El biogás desulfurado, proveniente del compresor, pasa por una trampa de vapor para quietarle el agua en forma de condensado. Previo a ello, deben disminuir su temperatura dado que la óptima para la adsorción es 20°C. Para este descenso de temperatura, se utiliza agua, que debe calentarse hasta una temperatura aproximada de 70 °C, para luego ingresar a ME-01. Los caudales y temperaturas se detallan en el capítulo de balance de masa y energía.

Como no es suficiente dicho intercambiador para disminuir la temperatura del biogás, se utiliza un segundo intercambiador en esta sección, el cual utiliza líquido refrigerante, agua a 18°C.

Ambos intercambiadores son de tubos y coraza, presentan las siguientes especificaciones:

Tabla 73. Detalles del intercambiador de calor diseñado E-02

Intercambiador de calor de tubos y coraza 1-6	
Diámetro interno de la coraza	20,32 cm
Área efectiva	0,98 m ²
Líquido de los tubos	Agua
Fluido de la coraza	Biogás
Número de tubos	20
Diámetro externo de los tubos	0,95 cm
Diámetro interno de los tubos	0,47 cm
Calibre de tubos o BWG	0,08 cm
Longitud de los tubos	0,80 m
Arreglo de los tubos	Triangular
N° de pasos	6
Paso de los tubos	2,54 cm
Espaciado de deflectores	6,13 cm
Numero de bafles	10
Velocidad del fluido por los tubos	1,44 m/s
Velocidad del fluido por la coraza	0,79 m/s

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74. Detalles del intercambiador de calor diseñado E-03

Intercambiador de calor de tubos y coraza 1-4	
Diámetro interno de la coraza	20,32 cm
Área efectiva	3,25 m ²
Líquido de los tubos	Agua
Fluido de la coraza	Biogás
Número de tubos	24
Diámetro externo de los tubos	1,91 cm
Diámetro interno de los tubos	1,72 cm
Calibre de tubos o BWG	0,082 cm
Longitud de los tubos	2,44 m
Arreglo de los tubos	Triangular
N° de pasos	4
Paso de los tubos	2,54 cm
Espaciado de deflectores	6,45 cm
Numero de bafles	30
Velocidad del fluido por los tubos	1,08 m/s
Velocidad del fluido por la coraza	5,18 m/s

Fuente: Elaboración propia.

8.2.9. Adopción de Biofiltro FIL-01

La corriente proveniente del intercambiador de calor HE-01, se dirige hacia un biofiltro, ingresando por la parte inferior del mismo, el cual degrada sustancias malolientes como hidrógeno sulfurado, mercaptanos, dimetil sulfuros, amoniaco de origen natural o de síntesis inorgánica, compuestos aromáticos o alifáticos, en compuestos inodoros; mediante la acción de la corriente líquida, proveniente del sistema de nitrificación y recirculación del equipo, que ingresan por la parte superior. Se usa un biofiltro con un volumen de lecho de 8,34 m³, que es donde se producirá la eliminación del H₂S, aunque el volumen real del biorreactor será de aproximadamente 19,65 m³, teniendo un diámetro de 2,40 metros y una altura de 4,34 metros, siendo la relación altura diámetro de 1,81 metros. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo 4.

El lecho está compuesto por Anillos Pall, con alta capacidad para albergar una biomasa con mayor población, y así, eliminar más contaminante por metro cúbico de lecho.

El material utilizado para el diseño es Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).

A continuación, se exponen las características del biofiltro seleccionado.

Tabla 75. Características del Biofiltro

Característica	Valor
Caudal volumétrico	218,82 m ³ /h
Volumen del lecho filtrante	8,34 m ³
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	PRFV
Altura	4,34 m
Diámetro	2,40 m

Fuente: Elaboración propia.



Figura 66. Biofiltro



Figura 67. Relleno del Biofiltro. PallPak 100B. Fuente: The Pall Ring Company LTD.

8.2.10. Adopción de mezclador ME-02

Una parte del digestato líquido, es reutilizada y se dirige hacia un mezclador en donde además ingresa por la parte superior, una solución de carbonato de calcio a temperatura ambiente con la finalidad de disminuir la temperatura a 30°C.

Una vez que la corriente es homogenizada, se dirige hacia el reactor aeróbico R-03.

A continuación, se exponen las características del mezclador adoptado:

Tabla 76. Características del mezclador sólido- líquido

Característica	Valor
Potencia del motor	3,73 KW
Caudal de alimentación de sólidos	Hasta 4000 kg/h
Caudal de alimentación de líquidos	Hasta 40 m ³ /h
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Acero inoxidable ASI 304-316
Altura	90 cm
Ancho	35 cm
Largo	70 cm

Fuente: SIMES S.A. En línea: www.simes-sa.com.ar



Figura 68. Mezclador sólido – líquido

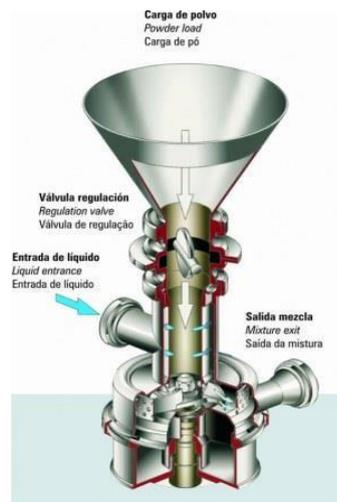


Figura 69. Esquema del interior del mezclador sólido – líquido
 Proveedor: SIMES S.A., Santa Fe, Argentina. Modelo M-3.

8.2.11. Diseño de Reactor Aeróbico- R-03

La corriente anterior resultante ingresa a un reactor aerobio, donde el amonio se convertirá en nitrato, siendo necesario luego en el equipo de biofiltración.

En el diseño del mismo las variables más importantes para obtener óptimas condiciones de operación son: temperatura, pH, inhibiciones del proceso y caudal de recirculación. Además, es importante un sistema de agitación y la necesidad calorífica para mantener la temperatura constante.

La temperatura de operación será de 30 °C, con un pH de 7,5.

El material del reactor que se usa es aluminio anodizado por tener una emisividad alta, así como una alta resistencia a la corrosión, que es especialmente útil en climas salinos. También es un metal ligero, además al pintarse de negro, se puede aumentar aún más la emisividad, y por ende la capacidad del material de emitir energía infrarroja.

Todos los cálculos relativos al diseño del reactor aerobio están reflejados en el Anexo 4.

Para el cálculo geométrico, se decide optar por una geometría del tanque rectangular con el fin de conseguir un tanque más manejable, así como para contar con la posibilidad de hacerlo de hormigón, como son los reactores aerobios de las EDAR en la actualidad. Para calcular las medidas del mismo, se escoge un valor para una de las tres variables que disponemos (altura, largo, ancho). Se escoge como valor conocido la altura, que será de 2 metros. Se aumentará una altura de 0,5 metros para contrarrestar el fenómeno “hold-up”, pero este aumento no contará para el cálculo del volumen de reactor.

Las corrientes líquidas ingresan por la parte superior del equipo, mientras que las corrientes resultantes (purga y corriente de proceso) egresan por la parte inferior.

Dimensiones:

$$Volumen_{reactor} = 15,82 m^3$$

$$Ancho_{reactor} = 1,99m$$

$$Largo_{reactor} = 3,98 m$$

$$Altura_{reactor} = 2 m$$

Agitación del reactor aerobio

Para una correcta homogenización del reactor, así como para una correcta absorción del oxígeno, se requiere una fuente de agitación. Uno de los problemas que deriva de la agitación es la rotura de los agregados microbianos y, por lo tanto, no se debe elevar en gran medida la velocidad de agitación. Para la realización de los cálculos se tomó en cuenta el libro “Ingeniería de aguas residuales” (Metcalf y Eddy, Mc. Graw-Hill, 2008).

La agitación será mecánica, es decir, un motor que hace girar un eje con un impulsor. Las velocidades de agitación de los procesos industriales suelen estar entre 20 y 200 rpm (McCabe, 1998). Se selecciona 60 rpm (1 rps) por ser una velocidad media, favoreciendo así una adecuada agitación con un coste energético bajo.

Los tres tipos de impulsores más empleados para la homogenización de líquidos son los de disco (Rusthon), de palas planas y de hélice. Como el objetivo es homogenizar y favorecer la transferencia de materia, ésta mejora al romper las burbujas de aire, por lo que se selecciona la turbina de disco como impulsor.

Para calcular las medidas del dispositivo de agitación, acudimos a diferentes tablas:

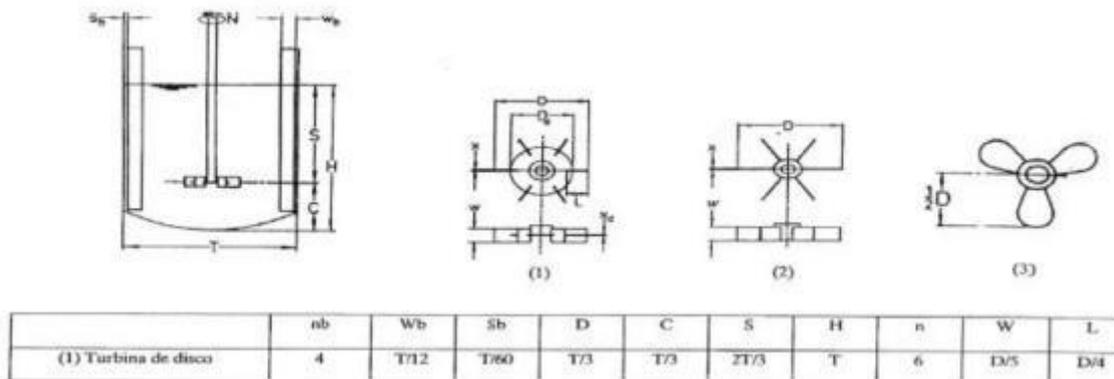


Figura 70 Relaciones para el cálculo de las medidas del impulsor y rotor

Siendo finalmente:

Tabla 77. Medidas del impulsor y rotor del agitador del reactor aerobio

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro pala	0,66	m
Altura del rotor	1,33	m

En cuanto a los deflectores, se instalarán un total de 4, con un largo de 1,72 m y un ancho de 0,14 m. Siendo el número de Reynolds igual a 420.000. De esta manera se obtiene una potencia de 0,74 kW.

Aireación necesaria

Para suministrar el oxígeno necesario, el reactor aerobio se alimentará con una corriente de aire procedente del exterior. Se usa aire por ser más económico que el oxígeno. El caudal de aire necesario para garantizar la reacción completa es de a 27,03 m³/h.

Se calcula la velocidad de consumo de oxígeno, y la velocidad de transferencia de oxígeno. La última debe ser mayor la primera para considerar válida la suposición de que la concentración de oxígeno se mantiene en 4 g/m³.

$$r_{consumo_{O_2}} = 2.440,40 \text{ g/m}^3 \text{ h}$$

$$NA = 3.187,83 \text{ g/m}^3 \text{ h}$$

La aireación se lleva a cabo desde el fondo, mediante un sistema de membrana de burbuja fina, que reduzca al máximo posible el tamaño de la burbuja de aire, y así permitir un aumento de la transferencia de materia.

Se adopta el sistema de aireación, de tipo difusores de membrana de burbuja fina, modelo RG-300. El mismo posee miles de micro perforaciones, que permiten obtener valores muy altos de transferencia de O₂, siendo ideales para su instalación en reactores aeróbicos de plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.

La membrana elastomérica de EPDM o ACRILO NITRILLO, permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas, facilitando el arranque de los sopladores de aire y protegiendo las cañerías y difusores de sobrepresiones.



Figura 71. Difusor de membrana

Fuente: REPIKY. En línea: <https://www.repicky.com.ar/difusores-de-membrana-de-burbuja-fina.html>

Evolución de la temperatura

Las pérdidas de calor se pueden producir a través de las paredes del reactor y por medio de la lámina de agua superior que, si bien no está en reposo, la agitación es muy pequeña. Sin embargo, la nitrificación es una reacción exotérmica, por lo que ayuda a mantener la temperatura del reactor en óptimas condiciones.

Al no contar con un sistema de calefacción, las condiciones dentro del reactor variaran a lo largo del año, según la temperatura ambiente. Aunque, si se tiene en cuenta que la corriente que ingresa al sistema de nitrificación previamente en enfriada realizando la mezcla con agua a temperatura ambiente, de esta manera se podrá mantener la temperatura del reactor a 30°C haciendo variar el caudal de ingreso de agua.

Tabla 78. Resumen de detalles del reactor aeróbico

Parámetro	Valor	Unidad
Altura total	2,50	m
Volumen total	15,82	m ³
Área	7,91	m ²
Ancho	1,99	m
Largo	3,98	m
TRH	3,91	Día
TRS	17	Día
Material	Aluminio anodizado	-

Fuente: elaboración propia

8.2.12. Adopción de un Sedimentador-S-04

Luego de su paso por el reactor aeróbico, la corriente líquida es dirigida por la parte superior del sedimentador donde el lodo decanta, y el líquido se dirige hacia el mezclador ME-02, para luego ingresar al biofiltro.

Para la adopción del sedimentador, primero se realizan cálculos utilizando métodos empíricos con el fin de simplificar los mismos. Los tres más conocidos para la eliminación de biomasa son (Haandel y Lubbe, 2007):

- Método EPA (Environmental Protection Agency, Estado Unidos)
- Método ATV (Technical Federation for Waste Water, Alemania)
- Método STORA (Research Foundation for Waste Water Pollution Control, Holanda).

Parámetros de operación

Para todos los sedimentadores (Haandel y Lubbe, 2007), deben de cumplirse estas tres condiciones:

- Punte rotante a velocidades entre 2 y 5 revoluciones por hora (rph).
- El efluente de salida no debe exceder los $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$.
- El fondo debe de tener una pendiente de 8 %.
- La altura debe encontrarse entre 2 y 4 metros.

Para calcular el factor de carga ($v\phi$) del sedimentador se usa el método anteriormente citado, EPA, donde el mismo debe encontrarse entre 0,68 y 1,36 m^3 . Además, se escoge 2 rph como velocidad del puente rotante por ser el más bajo, debido a la poca carga de entrada que existe y como altura, se selecciona igualmente la más baja, es decir, 2 metros.

Como el factor de carga se define como el caudal que puede tratar el sedimentador por unidad de área, se entiende que a mayor valor menor tamaño de sedimentador se requerirá. Se escoge el valor más restrictivo, es decir, el más bajo, que en este caso es el proporcionado por el método EPA, con un valor de $0,68 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$.

Para calcular el área se usa la definición de factor de carga.

Dimensiones

Área del sedimentador

$$v\phi = \frac{Q_{\text{entrada}}}{A_{\text{sedimentador}}}$$

$$A_{\text{sedimentador}} = 6036,76 \text{ cm}^2$$

Diámetro del sedimentador

$$A_{\text{sedimentador}} = \pi * \frac{D_{\text{sedimentador}}^2}{4}$$

$$D_{\text{sedimentador}} = 87,7 \text{ cm}$$

Se adopta un tanque cónico especial para decantación de sólidos en corrientes líquidas, con las siguientes dimensiones:

Altura_{sedimentador} = 1,99 m

Diámetro_{sedimentador} = 1,25 m

De esta manera aumenta el tiempo de sedimentación a 5,95 h.



Figura 72. Sedimentador

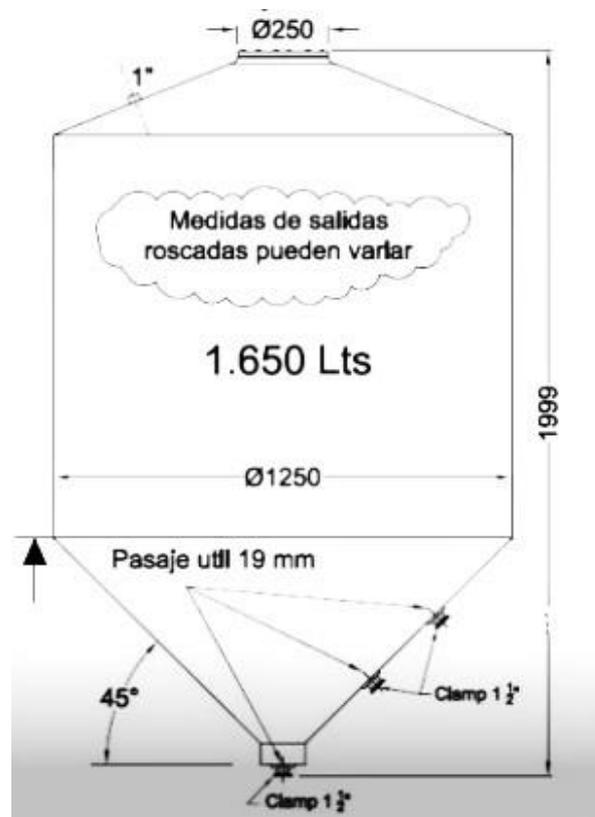


Figura 73. Esquema del sedimentador

Fuente: Agrofy. En línea: <https://www.agrofy.com.ar/tanque-conico-de-1650l.html>

Tabla 79. Características del sedimentador

Característica	Valor
Caudal volumétrico	0,92 m ³ /h
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Polietileno

Fuente: elaboración propia

8.2.13. Cálculo y adopción de compresor K-01

Cálculo de compresor

Como consecuencia de la variación de la densidad en el flujo compresible, resulta inadecuada la forma integrada de la ecuación de Bernoulli. Sin embargo, se puede utilizar de forma diferencial para relacionar el trabajo de árbol con la variación diferencial de la carga de presión. Tanto en soplantes como compresores, las energías potenciales y cinética no varían sensiblemente y puede prescindirse de los términos de carga estática y velocidad. Se supone que no existe fricción en el compresor, por lo tanto, no hay caída de presión debido a ella, por lo que $hf_{\text{compresor}}=0$. La ecuación del trabajo realizado por el compresor es:

$$dW_{pr} = \frac{dP}{\rho}$$

Integrando para la presión de succión y la de descarga,

$$W_{pr} = \frac{1}{\rho} \int_{P_1}^{P_2} P$$

Para hacer uso de esta ecuación, y poder calcularse la integral, es necesario saber el camino termodinámico recorrido por el fluido en el aparato, desde la succión hasta la descarga.

Suponiendo una compresión adiabática, que es la seguida en aparatos no refrigerados, la relación entre presión y densidad puede escribirse como:

$$\frac{P_2}{\rho_2^\gamma} = \frac{P_1}{\rho_1^\gamma}$$

Donde γ es la relación entre calores específicos a presión y volumen constante del gas considerado.

Sustituyendo el valor de la densidad a la salida del equipo en la ecuación a integrar, y luego multiplicando y dividiendo por $P_1^{1-\frac{1}{\gamma}}$, la ecuación del trabajo toma la forma:

$$W_{pr} = \frac{P_1 \cdot \gamma}{(\gamma - 1) \cdot P_1} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1-\frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$$

En tanto que, la potencia para un compresor adiabático viene dada por la siguiente ecuación, según McCabe:

$$P = \frac{2,3022 \cdot T_1 \cdot \gamma \cdot q_0}{288 \cdot (\gamma - 1) \cdot \eta} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1-\frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Dónde:

T1: Temperatura de ingreso al compresor (K).

q0: Caudal de gas (m³/min).

η : Rendimiento del compresor.

Dado que el compresor sirve como transporte del biogás, y además como elevador de la presión, se calcularon todas las pérdidas de carga en la línea de biogás mediante ecuaciones de Renouard, y con este valor, pudo conocerse la presión de descarga del equipo, para luego conocer la potencia.

Basada en este desarrollo, se opta por utilizar la herramienta de simulación Chemcad, y así se logra obtener la potencia real y demás datos del compresor.

A continuación, en formato de tabla, se presentan los detalles del compresor.

Tabla 80. Datos del compresor

Datos del compresor	
Presión de succión (atm)	1
Presión de descarga (atm)	6
Potencia calculada (kW)	15,69
Factor de seguridad	1,29
Potencia real (kW)	18,04

Fuente: elaboración propia

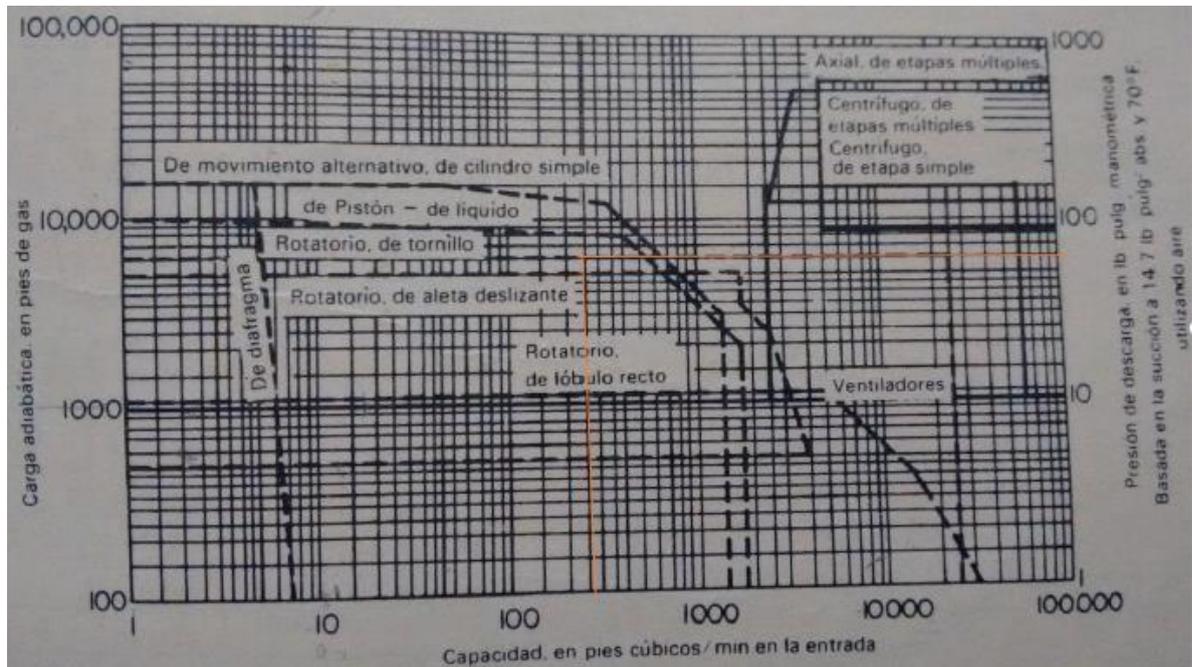


Figura 74. (Perry tomo 2 sexta edición , 1992)

En la Figura 74 se observan, en zonas, los tipos más comunes de compresores en función de la presión de descarga y del caudal. Según estos valores, el más adecuado sería el de rotatorios de tornillo. Este es uno de los tipos más utilizados, y es considerado adecuado para aumentar la presión de aspiración en plantas de tratamiento de biogás (BGTP) o como componente esencial de las instalaciones de inyección de biogás (BGIP) para la compresión del gas que más tarde se inyecta en las redes.

El compresor cuenta con un control de caudal variable mediante válvulas de control de accionamiento hidráulico (control de puertas).

Los datos técnicos son:

Tabla 81. Datos técnicos del compresor

Característica	Valor	
Caudal volumétrico máximo	15.600 m ³ /h	
Medio	Biogás, gas natural, aire	
Potencia nominal	25,3 kW	
Dimensiones	Longitud-L (m)	0,84
	Altura- H(m)	0,38
	Ancho- W (m)	0,40

Fuente: elaboración propia

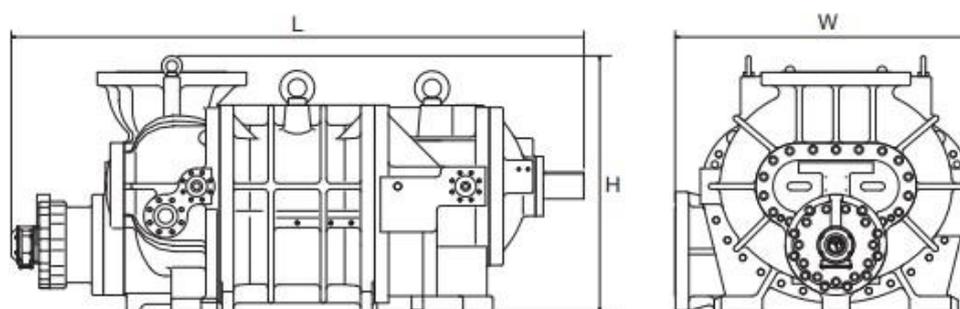


Figura 75 Esquema interior del compresor.

Proveedor: Mayekawa, Haedo, provincia de Buenos Aires. Modelo: Compresores de tornillo Serie V MYCOM 125 SUD/G.

8.2.14. Adopción de Trampa de Vapor TV-01

La corriente de biogás acondicionada proveniente del intercambiador de calor, fluye hacia una trampa de vapor, la cual elimina el agua de la misma.

Dentro de los diferentes modelos de trampas de vapor, se adopta un purgador de boya, el cual funciona de manera continua, eliminando el condensado en el momento en que se forma. Durante la puesta en marcha, el eliminador termostático de aire permite el paso del aire evitando un bloqueo por aire del sistema. El condensado caliente cerrará el eliminador de aire herméticamente, pero en cuanto entra en la cámara principal del purgador, la boya se eleva y el mecanismo que está unido a la palanca abrirá la válvula principal, manteniendo el sistema libre de condensado en todo momento. Cuando llega el vapor, la boya cae y cierra de nuevo la válvula principal. Los purgadores de boya son bien conocidos por su gran capacidad de descarga en la puesta en marcha, cierre hermético y su resistencia a los golpes de ariete y vibración.



Figura 76. Trampa de vapor

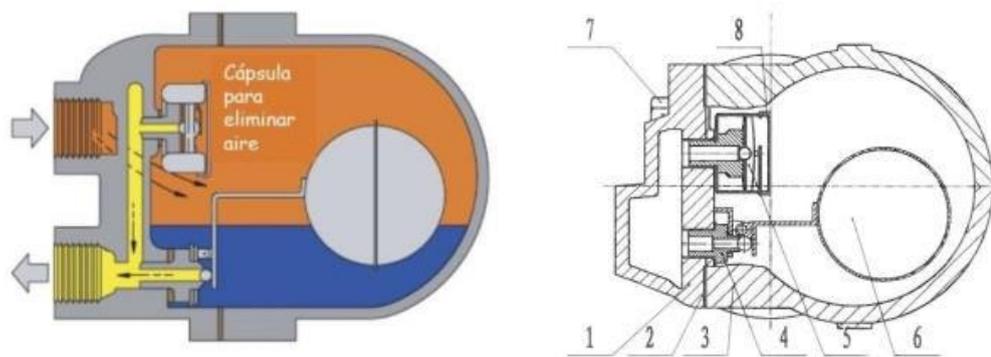


Figura 77. Esquema interior de la trampa de vapor

A continuación, en formato de tabla, se presentan los detalles del purgador de vapor.

Tabla 82. Datos de la trampa de vapor

Datos de la trampa de agua	
Presión diferencial máxima	10 bar
Temperatura máxima admisible	250°C
Presión máxima admisible	16 bar a 120 °C
Material Externo	Acero al carbono 1.0619
Material interno	Acero Inoxidable

Fuente: GENE BRE. En línea: <https://www.genebre.es/40481-purgador-de-boya-cerrada-para-vapor>. Modelo: ARTICULO:

2286 04 100 Purgador de boya cerrada para vapor Ball float steam trap

8.2.15. Adopción de sistema PSA para biometano C-01

La corriente de biogás acondicionada, que fluye desde la trampa de vapor, es transportada hacia el sistema PSA, por la parte inferior de la columna, egresando por la parte superior una corriente de CH₄ al 99%, y por la parte inferior, una corriente residual de gases.

El sistema adoptado se denomina MethagenAD, el mismo está basado en la tecnología VPSA diseñado para purificar biogás a partir de materias primas de digestión anaeróbica como:

- plantas de tratamiento de aguas residuales
- residuos municipales alimentarios y orgánicos
- residuos agrícolas

El funcionamiento es el siguiente: después de ser, previamente secado y desulfurado, el biogás comprimido se alimenta a la unidad, METHAGENAD, que hace uso de la tecnología VPSA, logrando eliminar el CO₂ N₂ O₂ y el H₂O residual de la corriente. Dicha tecnología contiene un conjunto de columnas rellenas de adsorbentes selectivos, en donde cada una de ellas, se somete a una secuencia cíclica de pasos de presión, para producir un flujo continuo de alta pureza.

La etapa de regeneración del adsorbente es asistida por un sistema de vacío para mejorar la eficiencia del proceso. El metano residual desorbido durante la etapa de regeneración se recicla de nuevo al depósito de entrada de biogás, lo que da como resultado una tasa de recuperación de metano cercana al 99%.

Ventajas:

- Casi 100% de recuperación de CH₄
- Cero emisiones
- 0.22 kWh / Nm³ de biogás
- Inversión de capital más baja
- Alta pureza de CH₄, hasta 99%
- Eliminación eficiente de O₂, CO₂ y H₂O
- Capacidad de reducción de N₂
- Proceso seco, sin agua ni productos químicos
- Punto de rocío <50 ppmv H₂O
- Alta confiabilidad / alta disponibilidad
- Instalación y funcionamiento sencillos
- inicio y parada rápidos

A continuación, se exponen las características del sistema PSA seleccionado.

Tabla 83. Características del sistema PSA para biometano

Características	Valor
Potencia del motor	21-41 kW
Caudal de alimentación	45 a 95 Nm ³ /h
Apto para limpieza CIP	Si
Material en contacto con la mezcla	Carbón activo
Altura columna	210 cm
Diámetro columna	85 cm
Cantidad de columnas	4

Fuente: SYSADVANCE. En línea: www.sysadvance.com. Modelo: AD XP2.

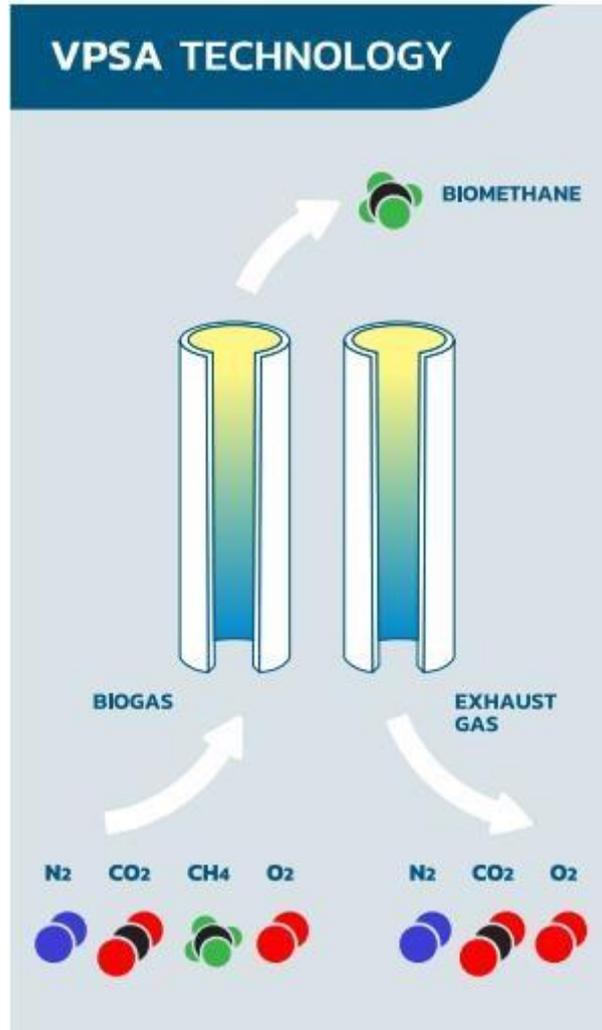


Figura 78 Esquema de sistema VPSA para biometano



Figura 79. Sistema VPSA para biometano



Figura 80 Sistema VPSA para biometano

8.2.16. Separador helicoidal- S-03

Una fracción del lodo proveniente del biodigestor, es transportado por medio de una bomba hacia un separador helicoidal. El mismo está construido con una espiral sumergida, con una pendiente ascendente de 4 pulgadas, con tanques laterales, de paso único y flujo cruzado. Se obtienen dos corrientes, una líquida que egresa por la parte inferior seguidamente de la entrada al equipo, mediante rejillas permitiendo la separación de fases, tal que, la fase sólida es arrastrada y comprimida a lo largo del equipo, retirándose por el extremo opuesto del tornillo. En la Figura 81 se observa el funcionamiento detallado. En el anexo 4 se detallan los cálculos para la adopción del equipo.



Figura 81. Funcionamiento de Separador helicoidal

A continuación, se exponen las características del separador helicoidal seleccionado.

Tabla 84. Característica del separador helicoidal

Característica	Valor
Potencia del motor	1,1 kW
Caudal de alimentación de solidos	Hasta 500 kg/h
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Acero solido – Hierro fundido
Altura	114 cm
Ancho	49 cm
Largo	1385 cm
Peso	700 kg
Diámetro espiral	30 cm
Longitud de la cubeta	300 cm
Velocidad de rotación	12-30 rpm

Fuente: 911 Metallurgy Corp. En línea: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/clasificadores-helicoidales/>



Figura 82. Separador helicoidal
Proveedor: 911 Metallurgy Corp. Canadá. Modelo:

8.3. Adopción de tanques

8.3.1. Tanque de CaCO₃- T-05

Se utiliza un tanque de almacenamiento para el CaCO₃ necesario en el sistema de nitrificación. El mismo consta de las siguientes características.

Tabla 85: Características tanque de CaCO₃

Característica	Valor
Capacidad de almacenamiento	15000 l
Tiempo de almacenamiento	36 h
Apto para limpieza CIP	Sí
Alto	261 cm
Diámetro	290 cm
Material en contacto con la mezcla	Polietileno virgen con protección U.V.

Fuente: DURAPLAS. En línea: <https://duraplas-argentina.com/producto/tanque-reforzado-de-15-000-lts>



Figura 83: Tanque CaCO₃
Fuente: DURAPLAS

8.3.2. Tanque de CaNO₃- T-06

Se utiliza un tanque de almacenamiento para el CaNO₃, para prevenir posibles fallas en el sistema de nitrificación.

Tabla 86: Características tanque de CaNO₃

Característica	Valor
Capacidad de almacenamiento	1000 l
Tiempo de almacenamiento	4 días
Alto	105 cm
Diámetro	137 cm
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Tricapa de Polietileno

Fuente: CARLOSISLA. En línea: https://www.carlosisla.com.ar/producto/tanque-eternit-polietileno-tricapa-x-1000-lt/?dTribesID=5JyEqDXpk6ht8lCpFYnSehQR5jB0CGYo%7Cadtribes%7C3105&utm_source=Google%20Merchant%20Promotions%20Feed&utm_campaign=avnd&utm_medium=cpc&utm_term=3105&gclid=Cj0KCCQjw5JSLBhCxARIsAHgO2SeFIW1rrzx47i8ypo-R3RgWDCO4SyhSZ1aCoZ4MPhrUbVo3XIXyDkYaAlpdEALw_wcB



Figura 84: Tanque CaNO3
Fuente: CARLOSISLA

8.3.3. Tanque de NaOH

Se utiliza un tanque de almacenamiento para el NaOH necesario en el biofiltro para asegurar el pH. El mismo consta de las siguientes características.

Tabla 87: Características tanque de NaOH

Característica	Valor
Capacidad de almacenamiento	1000 l
Tiempo de almacenamiento	30 días
Alto	105 cm
Diámetro	137 cm
Apto para limpieza CIP	Sí
Material en contacto con la mezcla	Tricapa de Polietileno

Fuente: CARLOSISLA. En línea: https://www.carlosisla.com.ar/producto/tanque-eternit-polietileno-tricapa-x-1000-lt/?dTribesID=5JyEqDXpk6ht8lCpFYnSehQR5jB0CGYo%7Cadtribes%7C3105&utm_source=Google%20Merchant%20Promotions%20Feed&utm_campaign=avnd&utm_medium=cpc&utm_term=3105&gclid=Cj0KCCQjw5JSLBhCxARIsAHgO2SeFIW1rrzx47i8ypo-R3RgWDCO4SyhSZ1aCoZ4MPhrUbVo3XIXyDkYaAlpdEALw_wcB



Figura 85: Tanque NaOH
Fuente: CARLOSISLA

8.4. Cálculo y adopción de bombas

El bombeo es el proceso por el cual se le adiciona energía cinética y potencial a un líquido para producir movimiento y transportarlo de un punto a otro. Las bombas incrementan la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión o elevación. Para cada una de las conexiones entre equipos, se debe adoptar una bomba con características específicas, y diseñar el sistema para el transporte de las corrientes del proceso. En la producción de biometano se utilizan bombas centrífugas, todo el sistema de la planta está regulado mediante un controlador lógico programable (PLC).

En la Tabla 88 se describen las bombas utilizadas para el transporte de las correspondientes corrientes del proceso.

Tabla 88. Referencia de bombas de proceso

Código	Fluido a transportar	Especificaciones
P-01	Solución con sólidos sedimentables	Corriente M. Desde ME-01 a R-01
P-02	Solución con sólidos sedimentables	Corriente N. Desde R-01 a ME-01 y S-03
P-03	Solución resultante de digestato líquido	Corriente J3. Desde S-03 a T-08 y ME-02
P-04	Solución de CaCO_3	Corriente Pc. Desde T-05 a ME-02
P-05	Solución con sólidos sedimentables	Corriente Ps. Desde R-03 a S-04
P-06	Sedimento de recirculación	Corriente Pr. Desde S-04 a R-03
P-07	Solución rica en nitrato	Corriente Pe. Desde S-04 a FIL-01
P-08	Solución de recirculación	Corriente Tr. Recirculación FIL-01
P-09	Solución de NaOH	Corriente R. Desde T-07 a FIL-01
P-14	Solución	Corriente Pt. Desde ME-02 a R-03
P-22	Solución CaNO_3	Corriente de emergencia. Desde T-06 a FIL-01

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta la secuencia de cálculo utilizada para la determinación de la potencia de cada bomba, la metodología utilizada está realizada en base a (McCabe, 2007) y (Ocon Garcia, Joaquin; Tojo Barreiro Gabriel).

Cabe destacar que el procedimiento descripto se realiza para el tramo de succión y para el de descarga de la bomba en cuestión.

- I. Realizar la distribución de los equipos y tuberías en el terreno de la planta. Considerar el diámetro y la altura de los tanques, altura de los puntos de carga y descarga, ubicación de las bombas y accesorios (válvulas, empalmes, codos, etc.).
- II. Determinar la longitud de los tramos de tubería para las distintas bombas.
- III. Estimar la velocidad lineal del fluido, para la misma se utiliza la tabla 8-1 de velocidad de fluidos en tuberías de (McCabe, 2007) y es necesario conocer la viscosidad del fluido a transportar.
- IV. Calcular el diámetro óptimo de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{4 * Qv}{\pi * v}}$$

Donde Qv es el caudal volumétrico y v la velocidad lineal del fluido estimada en el punto anterior. Cabe destacar que el valor de D [m] calculado se utiliza para determinar el valor real de la tubería en base a la norma ASME y ASTM

- I. Se calcula el número de Reynolds

$$NRe = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Donde ρ es la densidad, v es la velocidad lineal del fluido, D el diámetro interno de la tubería y μ la viscosidad del fluido.

- II. Calcular f, el factor de fricción de Fanning.

$$f = (-2 * \log(\frac{ks}{7,4 * Di} - \frac{5,02}{NRe} * \log(\frac{ks}{7,4 * Di} + \frac{13}{NRe})))^{-2}$$

Donde ks se calcula por medio de la rugosidad relativa ks/D el cual se obtiene de los diagramas de Moody de la figura 1-3 del (Ocon Garcia, Joaquin; Tojo Barreiro Gabriel).

- III. Calcular la pérdida de carga por fricción (hf)

$$hf = f \frac{Lt * v^2}{D * 2g}$$

Donde LT es la longitud total de la tubería (m, determinada a partir de la suma de la cañería horizontal y la longitud equivalente a cada uno de los accesorios, obtenida de la figura 1-2 del (Ocon Garcia, Joaquin; Tojo Barreiro Gabriel).

- IV. Se calcula el trabajo desarrollado por la bomba empleando la ecuación de Bernoulli, la cual indica la carga total que debe vencer la bomba teniendo en cuenta los cálculos determinados tanto para la cañería de succión como de descarga de la misma.

$$Ht = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta Z g}{gc} + \frac{\Delta V}{2 * g} + Hf$$

Donde HT es el trabajo mecánico desarrollado por la bomba [m], ΔP es la carga de presión o diferencia de presión entre la succión y la descarga, ΔZ es la diferencia entre los niveles, ΔV es la diferencia entre las velocidades, Hf es la pérdida por fricción total, g es la aceleración de la gravedad y gc es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton.

- V. Para finalizar, se calcula la potencia mínima necesaria que requiere la bomba en HP mediante la siguiente ecuación.

$$P = \frac{Ht * \rho * Qv}{\eta}$$

Donde η es la eficiencia de la bomba.

A continuación, se exponen las tablas que expresan los datos para el cálculo de cada bomba, los resultados tanto para la succión como para la descarga, los parámetros obtenidos y las características generales cada una de las bombas adoptadas.

Las bombas a utilizar a la salida del reactor (P-01 y P-02) deben ser especiales, que permitan trabajar con lodos y sólidos en suspensión. Para ello se adoptan bombas centrífugas inatacables de la empresa Drotec, las cuales son diseñadas para el manejo de líquidos que contengan sólidos en suspensión, y son especialmente aptas para efluentes industriales, cloacales, barro, etc. La bomba adoptada contiene un impulsor cerrado de dos canales con un amplio pasaje de sólidos con el máximo rendimiento hidráulico.

8.4.1. Adopción de Bomba P-01

La bomba P-01 succiona la mezcla proveniente del equipo ME-01 y descarga en el reactor R-01, ingresando por la parte inferior hasta la parte superior del mismo, por medio de 3 cañerías en paralelo. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 89. Especificaciones de la Bomba P-01

Bomba P-01	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	6-6
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	168,27- 168,27
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	154,05- 154,05
Caudal volumétrico (m ³ /h)	4,60
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,069- 0,069
Segunda sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	3
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm)	88,9
Diámetro interior de la cañería (mm)	77,93
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,53
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,089
Conjunto de secciones	
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	11,82
Potencia calculada (HP)	0,225
NPSH _{dis}	11,85
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Drotec bombas industriales
Modelo	CA-150R
Caudal máximo (m ³ /h)	350
Altura de descarga máxima (m)	20
Potencia (HP)	0,25
Velocidad (rpm)	950
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	-50 – 250 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Drotec. En línea: <http://www.drotec.com.ar/folleto-htm/folleto-bombas-centrifugas-inatascables-serie-CA.html>

8.4.2. Adopción bomba P-02

La bomba P-02 succiona el digestato producido en el reactor R-01 para descargar una fracción del mismo en el equipo S-03 (segunda sección) y otra parte en ME-01 para su recirculación (tercera sección). En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 90. Especificaciones de la Bomba P-02

Bomba P-02	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	6-6
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	168,27- 168,27
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	154,05- 154,05
Caudal volumétrico (m ³ /h)	4,73
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,07
Segunda sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	6
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm)	88,9
Diámetro interior de la cañería (mm)	77,93
Caudal volumétrico (m ³ /h)	4,10
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,061
Tercera sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	2
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm)	60,32
Diámetro interior de la cañería (mm)	52,50
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,62
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,08
Conjunto de secciones	
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	0,92
Potencia calculada (HP)	0,017
NPSH _{dis} (m)	12,60
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Drotec bombas industriales
Modelo	CA-150R
Caudal máximo (m ³ /h)	450
Altura de descarga máxima (atm)	4,36
Potencia (HP)	0,25
Velocidad (rpm)	950
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	-50 – 250 °C

Fuente: Elaboración propia MathCAD. Proveedor: Drotec. En línea: <http://www.drotec.com.ar/folleto.html/folleto-bombas-centrifugas-inatascables-serie-CA.html>

8.4.3. Adopción de bomba P-03

El digestato líquido obtenido del equipo S-03 se divide en dos secciones, la primera se descarga en un estanque para su almacenamiento T-08 mientras que la segunda se lleva hacia el ME-02. En la Tabla 91 se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 91: Especificaciones de la Bomba P-03

Bomba P-03	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1/2-3/8
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	21,34- 15,80
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	15,80- 17,14
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,61
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,86- 1,37
Segunda sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	1/4
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm)	13,72
Diámetro interior de la cañería (mm)	9,25
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,44
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,82
Tercera sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	1/8
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm)	10,29
Diámetro interior de la cañería (mm)	6,83
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,17
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,28
Conjunto de secciones	
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	24
Potencia calculada (HP)	0,071
NPSH _{dis} (m)	7,78
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Hidráulica Alsina, SA.
Modelo	MO32-160B
Caudal máximo (m ³ /h)	240
Altura de descarga máxima (m)	29
Potencia (HP)	3
Velocidad (rpm)	2.900
Viscosidad (cp)	Viscosidad similar al agua
Temperatura máxima (°C)	80 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Hidráulica Alsina, SA En línea:
<https://www.bombahasa.com/es/productos/mo/electrobombas-centrifugas-monobloc-horizontal/>

8.4.4. Adopción de bomba P-04

La bomba P-04 succiona la solución de CaCO₃ por la parte inferior del tanque T-05 para ser descargado en el equipo ME-02. En la Tabla 92 se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 92 Especificaciones de la Bomba P-04

Bomba P-04	
<i>Parámetros calculados</i>	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	3/4
Número de cédula	SCH 40s
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,67- 26,67
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	20,93- 20,93
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,374
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,3- 0,3
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	2,73
Potencia calculada (HP)	0,05258
NPSH _{dis}	9,33
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Hidráulica Alsina, SA.
Modelo	HFT-32-16
Caudal máximo (m ³ /h)	15
Altura de descarga máxima (m)	3,9
Potencia (HP)	0,285
Velocidad (rpm)	1450
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura máxima (°C)	350°C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Hidráulica Alsina. En línea:
<https://www.bombashasa.com/es/productos/hft/electrobombas-centrifugas-para-proceso-quimico/>

8.4.5. Adopción de bomba P-05

La bomba P-05 succiona el efluente por la parte inferior del R-03 para descargarlo en el sedimentador S-04. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 93. Especificaciones de la Bomba P-05

Bomba P-05	
Parámetros calculados	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1 1/4
Número de cédula	SCH 40s
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	42,16- 42,16
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	35,05- 35,05
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,187
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,16- 0,16
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	1,99
Potencia calculada (HP)	0,005
NPSH _{dis}	10,24
Bomba adoptada	
Fabricante	Hidráulica Alsina, SA.
Modelo	CO-350/03T
Caudal máximo (m ³ /h)	14,6
Altura de descarga máxima (m)	4
Potencia (HP)	0,496
Velocidad (rpm)	2850
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura máxima (°C)	100

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Hidráulica Alsina SA. En [lineahttps://www.bombashasa.com/es/productos/mx/electrobombas-monobloc-horizontal-en-acero-inoxidable/](https://www.bombashasa.com/es/productos/mx/electrobombas-monobloc-horizontal-en-acero-inoxidable/)

8.4.6. Adopción de bomba P-06

La bomba P-06 succiona el efluente proveniente de la parte inferior del sedimentador S-04, el cual contiene partículas disueltas. Por este motivo se debe adoptar una bomba preparada para trabajar con este tipo de fluidos. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 94 Especificaciones de la Bomba P-06

Bomba P-06	
Parámetros calculados	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	$\frac{3}{4}$
Número de cédula	SCH 40s
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,67- 26,67
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	20,93- 20,93
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,187
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,15- 0,15
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	2,55
Potencia calculada (HP)	0,002108
NPSH _{dis}	11,16
Bomba adoptada	
Fabricante	Hidráulica Alsina, SA.
Modelo	CO-350/03T
Caudal máximo (m ³ /h)	14,6
Altura de descarga máxima (m)	4
Potencia (HP)	0,496
Velocidad (rpm)	2850
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	100

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Hidráulica Alsina SA. En línea
<https://www.bombashasa.com/es/productos/mx/electrobombas-monobloc-horizontal-en-acero-inoxidable/>

8.4.7. Adopción de bomba P-07

La bomba P-07 recibe el efluente que rebalsa por la parte superior del sedimentador S-04 para dirigirlo hacia la parte superior del biofiltro FIL-01. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 95 Especificaciones de Bomba P-07

Bomba P-07	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40 - 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26.64 - 26.64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,52
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,261 - 0,261
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	4,34
Potencia calculada (HP)	0,012
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	BC 40 M
Caudal máximo (m ³ /h)	9
Altura manométrica máxima (m)	46
Potencia (HP)	0,4
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	-0 – 50 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Motorarg. En línea: <https://www.climatecnica.com/bombas-centr-fugas-motorarg-bc.72.806.html#3104>

8.4.8. Adopción de bomba P-08

La bomba P-08 succiona el efluente que se retira por la parte inferior del biofiltro FIL-01 y se recircula nuevamente al mismo equipo. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 96 Especificaciones Bomba P-08

Bomba P-08	
Parámetros calculados	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	2-2
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	60,33 – 60,33
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	52,51 – 52,51
Caudal volumétrico (m ³ /h)	24,21
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	3,1 – 3,1
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	4,34
Potencia calculada (HP)	1,58
Bomba adoptada	
Fabricante	Hidráulica Alsina, SA.
Modelo	HT - 200
Caudal máximo (m ³ /h)	37
Altura manométrica máxima (m)	98
Potencia (HP)	2
Velocidad (RPM)	2850
Temperatura (°C)	0 – 80 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Hidráulica Alsina, SA. En línea: <https://www.bombahasa.com/imag/cat-general/070-HM100-cg.pdf>

8.4.9. Adopción de bomba P-09

La bomba P-09 succiona la solución NaOH por la parte inferior del tanque T-07 para descargarlo por la parte superior del biofiltro FIL-01. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 97 Especificaciones Bomba P-09

Bomba P-09	
Parámetros calculados	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40 - 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64 – 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,001
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,007 - 0,007
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	4,34
Potencia calculada (HP)	0,00003
Bomba adoptada	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,33
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	-0 – 50 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Motorarg .En línea: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KQCQiA-eeMBhCpARisAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

8.4.10. Adopción de bomba P-14

La bomba P-14 succiona el fluido proveniente del mezclador ME-02 hacia la parte superior del reactor R-03. En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados la bomba y los datos correspondientes al equipo adoptado.

Tabla 98. Especificaciones Bomba P-14

Bomba P-14	
Parámetros calculados	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40 – 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64 – 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,31
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,65 - 0,65
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	2
Potencia calculada (HP)	0,02
Bomba adoptada	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,33
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: elaboración propia. MathCAD. En línea: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

8.4.11. Adopción de bomba P-22

La bomba P-22 funciona solo en ocasiones de emergencia, cuando el R-03 no está funcionando adecuadamente, para proveer el nitrato necesario para la reacción que ocurre en el biofiltro. Por lo que esta bomba succiona la solución de CaNO₃ del tanque T-06 y lo traslada hacia la parte superior del biofiltro.

Tabla 99. Características de la bomba P-22

Bomba P-22	
Parámetros calculados	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40 – 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64 – 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,52
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,26 - 0,26
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	4,50
Potencia calculada (HP)	0,012
Bomba adoptada	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,3
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQIA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGH0v2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

8.5. Adopción de equipos para transporte de sólidos

En la Tabla 100 se detallan los equipos adoptados para el transporte de sólidos

Tabla 100. Referencias

Código	Equipo	Especificaciones
X-01	Tornillo helicoidal	Corriente A, desde el almacenamiento de la planta de reciclaje hacia X-02
X-02	Cinta transportadora	Corriente A, inspección visual de FORSU
X-03	Cinta transportadora	Corriente E, desde S-01 a S-02
X-04	Cinta transportadora	Corriente G, desde S-02 a M-01
X-05	Tornillo helicoidal	Desde M-01 a almacenamiento SL-01
X-06	Tornillo helicoidal	Corriente H, desde tolva B-01 a ME-01
PM-01	Pala cargadora	Desde almacenamiento SL-01 a B-01

Fuente: Elaboración propia.

8.5.1. Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras constituyen un sistema muy empleado en la industria para realizar el transporte en continuo de materiales. Básicamente, una cinta transportadora consta de una banda continua por la cual se mueve el sólido y es arrastrada por fricción por la acción de un tambor cilíndrico,

llamado tambor motriz, que es accionado, en la mayoría de las ocasiones, por un motor eléctrico.

Cuando el material que lleva la cinta alcanza el final, la banda, al darse la vuelta, hace que el material transportado por la banda sea vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad y/o de la inercia.

A continuación, se destacarán las ventajas que han fomentado durante los últimos años el uso de las cintas transportadoras como un sistema de transporte ideal para el manejo de materiales:

- Capacidad de transporte
- Adaptación al perfil del terreno y versatilidad
- Bajo consumo energético
- Degradación mínima del material transportado
- Fácil tarea de mantenimiento

Para su diseño, se sigue el procedimiento detallado en la bibliografía (Ingmecanica, 2021), el cual se describe a continuación:

- I. Determinar el ancho de la banda: a raíz de los resultados de una buena práctica en el uso de cintas transportadoras, se suele fijar el ancho de banda de tal manera que éste sea mayor, por lo menos, a cuatro veces el tamaño de los trozos que predomine en el material.
- II. Determinar la longitud total de transporte.
- III. Determinar el ángulo necesario de elevación: (Perry, Sexta edición) recomienda que el ángulo de elevación sea menor a 30° (α).
- IV. Determinar la capacidad de transporte (Q_v).
- V. Determinar la velocidad de transporte (v) por medio de la siguiente fórmula

$$v = \frac{Q_v}{A_{transversal} * k}$$

Donde el área transversal es el producto del ancho de la cinta y la capacidad de carga en altura de la misma y k es el factor de elevación de la cinta y está dado por la siguiente fórmula:

$$k = 1 - \left(1,64 * \left(\frac{a * \pi^2}{180} \right) \right)$$

- VI. Calcular la potencia necesaria: el proveedor de cintas transportadoras Forbo movement system, provee de un método de cálculo para determinar la potencia necesaria para una cinta transportadora del tipo que se necesita adoptar, como se puede ver en la Figura 86 y Figura 87.

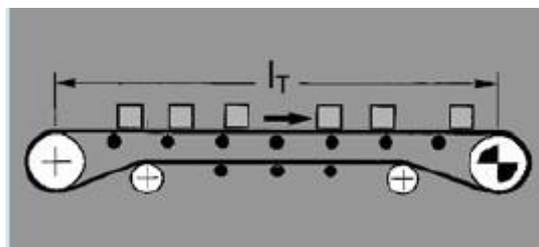


Figura 86. Modelo de cinta transportadora adoptado para transporte horizontal
Fuente: Siegling Transilon

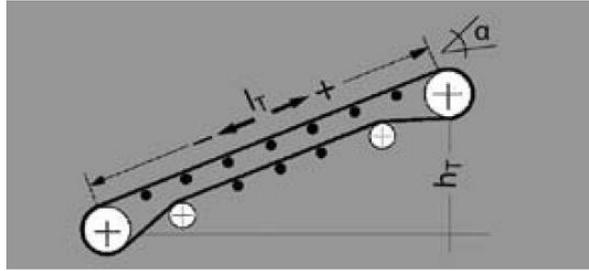


Figura 87. Modelo de cinta transportadora adoptado para elevación
Fuente: Siegling Transilon

Primeramente, se calcula la fuerza tangencial máxima (F_u)

Para cinta transportadora horizontal:

$$F_u = u_R * g * (m + m_B + m_R)$$

Para cinta transportadora con elevación:

$$F_u = u_R * g * (m + m_B + m_R) + m * g * \text{sen}(\alpha)$$

Donde u_R es el coeficiente de fricción estática para rodillo y se obtiene mediante tablas; m es la masa transportada en toda la longitud de banda; m_B es la masa de la banda, la cual se calcula como 3,15 kg/m de cinta y m_R es la masa de los tambores, excepto la de los tambores motriz, los cuales se calculan teniendo en cuenta que cada tambor tiene una masa aproximada de 95 kg.

Como segundo paso, se calcula la fuerza de tracción máxima de la banda (F_1)

$$F_1 = F_u * C1$$

El factor C1 se obtiene de tablas según el tipo de tambor.

En tercer lugar, se calcula la potencia mecánica en el tambor motriz (P_A)

$$P_A = F_u * v / 1000$$

Por último, la potencia mecánica del motor necesario (P_M)

$$P_M = P_A / n$$

Donde n es la eficiencia de accionamiento, el cual es igual a 0,9. Se debe seleccionar el motor estándar inmediatamente mayor.

Las cintas transportadoras Siegling Transilon se emplean en diversos rubros, en empresas industriales, comerciales y de servicios. Tiene una gama de suministro estándar, la cual abarca más de 160 modelos de bandas de transportes diferentes, así como versiones para los diversos requisitos que surgen en la práctica. Se pueden adaptar a oscilaciones de humedades, y a ángulos de elevación hasta 30° mediante bandas con estructuras, lo cual permite un buen agarre del material. En la Figura 88 se muestra una ilustración de las transportadoras Siegling Transilon.



Figura 88. Cinta transportadora Siegling Transilon

A continuación, se exponen las tablas que expresan los datos para el cálculo de cada cinta transportadora.

Cinta transportadora X-02

La cinta transportadora X-02 se utiliza para realizar la inspección visual de la FORSU que ingresa a la planta, recibiendo el sólido desde una tolva B-02 y descargándolo en la zaranda S-01. En la Tabla 101 se detallan las especificaciones de la cinta calculada y adoptada.

Tabla 101. Especificaciones cinta transportadora X-02

Cinta transportadora X-02	
<i>Parámetros calculados</i>	
Ancho de banda (mm)	800
Longitud de banda (m)	1,50
Capacidad de transporte (m ³ /h)	1,48
Velocidad de transporte (m/s)	0,01
Ángulo de elevación (°)	0
Potencia necesaria (HP)	0,000001
<i>Cinta transportadora adoptada</i>	
Fabricante	Forbo movement system
Potencia (HP)	0,25
Modelo	Siegling Transilon
Material	Fibra de poliéster con revestimiento de plástico

Fuente: Elaboración propia – mathcad.

La cinta X-02 cuenta con una tolva cuadrada de descarga, como se observa en Figura 89, para permitir que la uniformidad de sólidos en la misma, ya que los sólidos provienen del tornillo helicoidal X-01. Las dimensiones de la tolva se presentan en la Tabla 102.

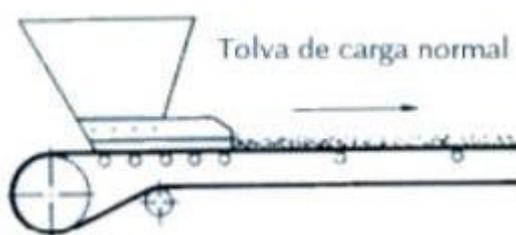


Figura 89. Tolva de descarga a cinta transportadora

Tabla 102. Dimensiones tolva de descarga a X-02

Tolva de descarga a X-02	
Diámetro superior (mm)	500
Diámetro inferior (mm)	300
Altura (mm)	500
Material	Chapa lisa

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Cinta transportadora X-03

La cinta transportadora X-03 se utiliza para transportar el sólido desde la zaranda S-01 hasta el separador magnético S-02. En la Tabla 103 se detallan las especificaciones de la cinta calculada y adoptada.

Tabla 103. Especificaciones de cinta transportadora X-03

Cinta transportadora X-03	
<i>Parámetros calculados</i>	
Ancho de banda (mm)	800
Longitud de banda (m)	4,00
Capacidad de transporte (m ³ /h)	1,47
Velocidad de transporte (m/s)	0,02
Ángulo de elevación (°)	30
Potencia necesaria (HP)	0,00002
<i>Cinta transportadora adoptada</i>	
Fabricante	Forbo movement system
Potencia (HP)	0,25
Modelo	Siegling Transilon
Material	Fibra de poliéster con revestimiento de plástico

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Cinta transportadora X-04

La cinta transportadora X-04 recibe la carga del separador magnético S-02 y lo descarga en el molino de martillo M-01 mediante un cono truncado. En la Tabla 104 se detallan las especificaciones de la cinta calculada y adoptada.

Tabla 104. Especificaciones de cinta transportadora X-04

Cinta transportadora X-04	
Parámetros calculados	
Ancho de banda (mm)	800
Longitud de banda (m)	1,12
Capacidad de transporte (m ³ /h)	1,47
Velocidad de transporte (m/s)	0,02
Ángulo de elevación (°)	30
Potencia necesaria (HP)	0,000006
Cinta transportadora adoptada	
Fabricante	Forbo movement system
Potencia (HP)	0,25
Modelo	Siegling Transilon
Material	Fibra de poliéster con revestimiento de plástico

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Se adopta un cono truncado, para que, por medio de la misma, el sólido ingrese al molino de martillos M-01. En la Tabla 105 se detallan las medidas del mismo

Tabla 105. Dimensiones tolva de descarga a M-01

Tolva de descarga a M-01	
Diámetro superior (mm)	800
Diámetro inferior (mm)	90
Altura (mm)	100
Material	Chapa galvanizada

Fuente: Elaboración propia – mathcad

8.5.2. Adopción de tornillos helicoidales

El transportador de tornillo helicoidal es una de las formas más confiables y rentables para transportar materiales a granel. Es una máquina muy versátil que puede manejar una amplia variedad de materiales, desde materiales secos y de flujo libre hasta materiales húmedos y lentos.

Se adopta el método de cálculo detallado en (Componentes y Accesorios para manejo de materiales) del proveedor Martin Sprocket & Gear. Primeramente, se debe identificar el código del material en un listado dado por la empresa para poder determinar el tamaño y la velocidad del transportador. Los datos que proporciona el código mencionado son los siguientes:

- Selección del rodamiento interno
- Serie de componentes
- Factor de material (F_m)
- Carga de artesa. Para la FORSU se recomienda trabajar con el 30% de carga en la artesa.

La velocidad del transportador se determina mediante la tabla 1-6 de (Componentes y Accesorios para manejo de materiales).

El tamaño del transportador no sólo está determinado por la capacidad requerida, sino también por el tamaño y la proporción de las partículas del material que están siendo manejadas. El tamaño de una partícula es la máxima dimensión que tiene. Existen tres clases de tamaños de partículas que se indican en la tabla 1-7 de (Componentes y Accesorios para manejo de materiales), a partir de lo cual se obtiene el diámetro de helicoidal.

La potencia requerida para operar un transportador helicoidal se basa en una instalación adecuada, en una alimentación regular y uniforme del material al transportador y en otros criterios de diseño. La potencia requerida es la suma de la potencia necesaria para vencer la fricción (HP_f) y la potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad especificada (HP_m) multiplicada por el factor de sobrecarga F_o y dividido entre la eficiencia total de la transmisión (e):

$$HP_f = \frac{L * N * F_d * f_b}{1.000.000}$$

$$HP_m = \frac{C * L * W * F_f * f_m * f_p}{1.000.000}$$

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m) * f_o}{e}$$

Donde L es la longitud total de transportador (ft), N es la velocidad de operación (rpm), F_d es el Factor de diámetro del transportador, F_b es el factor de buje para colgante, C es la capacidad (ft^3/h), W la densidad del material (lb/ft^3), F_f es el factor del helicoidal, F_m es el factor de material, F_p el factor de las paletas, F_o el factor de sobrecarga y e es la eficiencia de transmisión. Tanto los factores como la eficiencia se encuentran tabulados en (Componentes y Accesorios para manejo de materiales).

Para el caso del transporte de la FORSU que posee un tamaño muy variable, cuya máxima dimensión puede ser hasta 15 cm, se opta por utilizar tornillos sin eje de alta resistencia, los cuales son proveídos por SPIRAC Solid Handling Solutions. Este sistema permite el transporte con alta eficiencia de materiales difíciles, tiene un diseño industrial simple que requiere de poco mantenimiento, un sistema de autolimpieza y un funcionamiento libre de olores. La carga de los mismos se realiza desde la parte superior. En la Figura 91 se detallan las partes del mismo y las dimensiones adoptadas en cada caso.



Figura 90. Tornillo helicoidal sin eje

Fuente: En línea <https://www.spirac.com/products/spiroline%20AE-horizontalinlined-shaftless-spiral-conveyors>

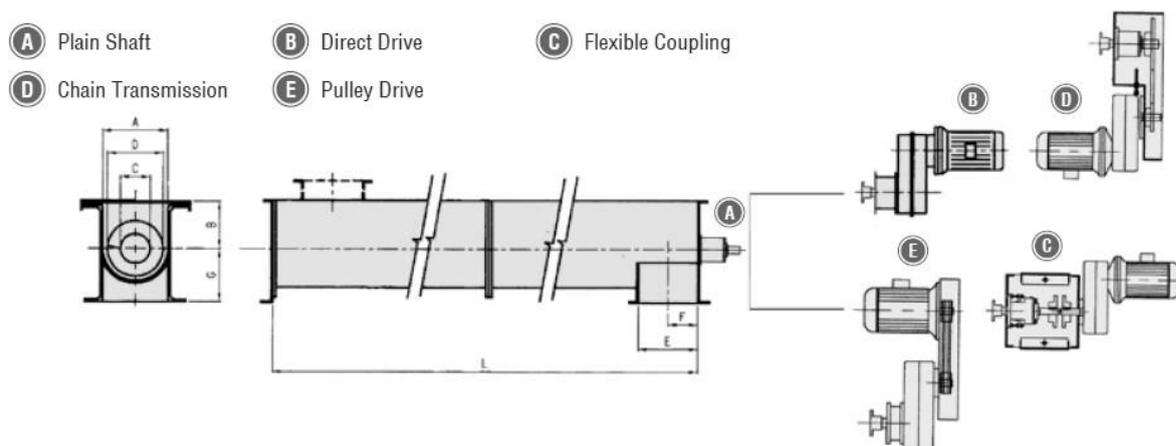


Figura 91. Partes de tornillo helicoidal

Fuente: En línea <https://www.spirac.com/products/spiroline%C2%AE-horizontalinlined-shaftless-spiral-conveyors>

Tornillo helicoidal X-01

El tornillo helicoidal X-01 carga los sólidos del almacenamiento de FORSU de la planta de reciclaje y los transporta hacia una tolva de la cinta transportadora X-02 utilizada para la inspección visual. En la Tabla 106 se especifican los parámetros calculados para el equipo y los correspondientes al adoptado.

Tabla 106. Especificaciones del tornillo helicoidal X-01

Tornillo helicoidal X-01		
Parámetros calculados		
Longitud (m)	3,50	
Capacidad de transporte (m ³ /h)	1,48	
Velocidad de helicoidal (rpm)	43,38	
Ángulo de elevación (°)	30,96	
Potencia necesaria (HP)	0,30	
Cinta transportadora adoptada		
Fabricante	SPIRAC Solid Handling Solutions	
Potencia (HP)	0,50	
Diámetro del tornillo (mm)	250	
Dimensiones (mm)	A	275
	B	160
	C	76
	D	227
	E	396
	F	198
	G	215

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Tornillo helicoidal X-05

El tornillo X-05 recibe la descarga del molino de martillos M-01 y lo transporta hacia el almacenamiento SL-01. En la siguiente tabla se especifican los parámetros calculados para el equipo y los correspondientes al adoptado.

Tabla 107. Especificaciones del tornillo helicoidal X-05

Tornillo helicoidal X-05		
Parámetros calculados		
Longitud (m)	3,54	
Capacidad de transporte (m ³ /h)	1,37	
Velocidad de helicoidal (rpm)	6,04	
Ángulo de elevación (°)	45	
Potencia necesaria (HP)	0,18	
Cinta transportadora adoptada		
Fabricante	SPIRAC Solid Handling Solutions	
Potencia (HP)	0,25	
Diámetro del tornillo (mm)	250	
Dimensiones (mm)	A	275
	B	160
	C	76
	D	227
	E	396
	F	198
	G	215

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Tornillo helicoidal X-06

El tornillo X-06 carga los sólidos desde la tolva de almacenamiento B-01 y los transporta hacia el mezclador ME-01. Se cuenta con dos equipos idénticos, debido a que dicha parte de proceso se encuentra por duplicado. En la Tabla 108 se especifican los parámetros calculados para el equipo y los correspondientes al adoptado.

Tabla 108. Especificaciones del tornillo helicoidal X-06

Tornillo helicoidal X-06		
Parámetros calculados		
Longitud (m)	3,14	
Capacidad de transporte (m ³ /h)	0,68	
Velocidad de helicoidal (rpm)	6,24	
Ángulo de elevación (°)	26,48	
Potencia necesaria (HP)	0,31	
Cinta transportadora adoptada		
Fabricante	SPIRAC Solid Handling Solutions	
Potencia (HP)	0,5	
Diámetro del tornillo (mm)	200	
Dimensiones (mm)	A	225
	B	135
	C	60
	D	177
	E	334
	F	167
	G	185

Fuente: Elaboración propia – mathcad

Adopción de pala mecánica de carga PM-01

La función de la pala mecánica es cargar las tolvas SL-02a y SL-02b de material solido dispuesto en el almacenamiento SL-01. La misma trabaja a primera hora de la mañana, de lunes a viernes.

Las especificaciones de la pala adoptada se detallan en la Tabla 109.

Tabla 109. Especificaciones de pala de carga adoptada PM-01

Pala mecánica de carga PM-01		
Proveedor	Michigan	
Modelo	R55c	
Capacidad de balde (m ³)	1,00	
Capacidad de carga (kg)	43,38	
Ángulo de elevación (°)	2.000	
Potencia del motor (HP)	100	
Dimensiones (mm)	Distancia entre ejes (a)	2.370
	Despeje del suelo (b)	340
	Altura de carga (c)	4.320
	Altura de perno (d)	3.630
	Altura descarga (e)	2.900
	Alcance descarga (f)	1.200
	Longitud (g)	5.960
	Altura total (h)	2.820

Fuente: Elaboración propia

8.6. Diseño de tolvas y silos de almacenamiento

8.6.1. Almacenamiento SL-01

El silo SL-01 se diseñó con una capacidad que permita el almacenamiento de la FORSU molida acumulada en cada uno de los 3 meses en que los reactores dejan de funcionar. De esta manera, la capacidad necesaria es de 1.100 toneladas, lo cual representa 1.466,67 m³. El diseño del almacenamiento adoptado consta de paredes de 2 m de altura con 2 puertas para permitir el ingreso de la pala, como se observa en la Figura 92.

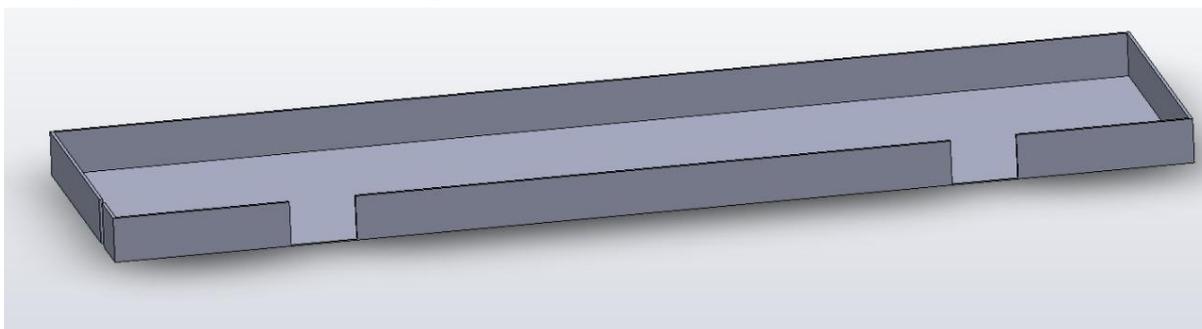


Figura 92 Almacenamiento SL-01

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observan las medidas del almacenamiento.

Tabla 110. Dimensiones de silo de almacenamiento SL-01

Silo de almacenamiento SL-01	
Volumen (m ³)	1.466,67
Ancho (m)	15
Largo (m)	48,89
Altura (m)	2
Ancho de puertas (m)	3
Material	Hormigón

Fuente: Elaboración propia

8.6.2. Almacenamiento SL-02

El almacenamiento SL-02 se encuentra por duplicado, ya que es desde donde cargan los tornillos X-06a y X-06b. El volumen de cada una se diseña de tal forma que permita depositar la carga del reactor correspondiente a un día de operación. El mismo consiste en un área delimitada para tal fin, en donde la pala mecánica descarga la materia prima desde el silo SL-01. En la siguiente tabla se detallan las dimensiones de la superficie necesaria.

Tabla 111. Dimensiones del almacenamiento SL-02

Almacenamiento SL-02	
Volumen (m ³)	17,51
Ancho (m)	3,50
Largo (m)	5

Fuente: Elaboración propia – mathcad

9. Servicios Auxiliares

Cuando se dispone a hacer el proyecto de una planta, una parte muy importante está ocupada por los servicios auxiliares; estos servicios no participan directamente en el proceso productivo como materia prima, sino que son complementos sin los cuales el proceso no se puede llevar a cabo.

El proceso de biometano está pensado para complementarse con una planta instalada, y es por eso por lo que se trata de aprovechar los servicios al máximo, con el menor costo posible. A continuación, se detallan los servicios auxiliares necesarios en la línea de producción de biogás.

9.1. Referencias

Tabla 112. Referencias de equipos utilizados en servicios auxiliares

Código	Equipo	Especificaciones
CT-01	Torre de enfriamiento	Enfriar agua de recirculación para usar en el proceso
T-02	Tanque de almacenamiento	Almacenar agua para utilizar en el proceso
T-03	Tanque de almacenamiento	Almacenar agua para uso general
T-04	Tanque de almacenamiento	Almacenar agua considerando las pérdidas en CT-01
F-01	Caldera	Producir vapor para utilizar en el proceso
P-10	Bomba Centrífuga	Extraer agua de pozo.
P-15	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-16	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-17	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-18	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-19	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-20	Bomba Centrífuga	Trasladar agua
P-21	Bomba centrífuga	Trasladar agua

Fuente: Elaboración propia

9.2. Agua

Servicio fundamental para cualquier proceso ya que se le puede dar diversos usos, como medio de enfriamiento o calentamiento, disolvente, limpieza, materia prima, medio de transporte o para la generación de vapor.

En este proyecto, el agua es utilizada como medio refrigerante, de calentamiento, disolvente y para las tareas de limpieza de la planta. Además, el agua es obtenida de pozos subterráneos y se estima una temperatura de 21 °C.

Cantidad de agua usada en distintos equipos

Tabla 113. Consumo de agua

Equipo	Uso	Masa de agua (kg/día)
<i>Uso como servicio auxiliar</i>		
HE-01	Enfriamiento	937,15
HE-02	Enfriamiento	3.940,44
HE-03	Enfriamiento	128.720,44
<i>Uso en el proceso</i>		
M-01	Dilución- calentamiento	3.940,44
M-03	Disolución- enfriamiento	9.013,20
<i>Consumo general</i>		
	Limpieza y otros	1.200
	Perdidas en TE-01	4.0007,94
<i>Cantidad de agua total</i>		147.819,17
	Proceso	12.953,64

Fuente: Elaboración propia.

Agua de servicio

La misma se utiliza en intercambiadores de calor HE-01, HE-02 y HE-03, para disminuir la temperatura a diferentes corrientes de proceso. La cantidad total manipulada es de 133.598,03 kg/día, los mismos serán transportadas hacia una torre de enfriamiento, TE-01, para recuperar su temperatura óptima de 18 °C.

Un detalle a tener en cuenta es que la cantidad de agua utilizada en HE-02, no regresa a TE-01, debido a que se utiliza en ME-01, como agua de proceso, renovándose constantemente.

Agua de proceso

Se requiere una cantidad diaria de 12.953,64 kg por día para lograr tanto la dilución y calentamiento de la mezcla antes de ingresar al reactor R-01, como el enfriamiento y disolución de la corriente que ingresa al reactor, R-03. La misma agua es extraída de los pozos, y según⁹ (VIJAY, 2011), si una vez efectuados los análisis correspondientes, todos los parámetros son correctos, no es necesario un tratamiento previo al ingreso a esos equipos.

Agua de consumo general

Se estima una cantidad igual a 1.200 kg/día, para diferentes usos, como limpieza, consumo, incendios y demás.

También se tuvo en cuenta el agua necesaria para cubrir pérdidas en TE-01, lo cual se considera un gasto constante del 3 % con respecto al total de agua utilizada en el equipo, es decir 4.107.94 kg/día

9.2.1 Cálculo y adopción de Torre de Enfriamiento

A continuación, se procede al cálculo de la energía absorbida por la torre (Q_{abs}), por medio de la siguiente ecuación, mostrando en la Tabla 114 los resultados.

$$Q_{abs} = m_{agua} * Cp_a * \Delta T$$

⁹ FUENTE: VIJAY, V.K., "Biogas Production, Upgradation and Slurry Management", Septiembre de 2011

Tabla 114. Cálculo de la energía absorbida

Nomenclatura	Valor
Cp del agua (kcal/kg*°C)	1
Temperatura de entrada (°C)	22
Temperatura de salida (°C)	18
ΔT (°C)	4
Masa de agua (kg/día)	129.657,59
Q_{abs} (kcal/día)	-115.891,128

Fuente: Elaboración propia.

Se adopta una torre de enfriamiento o del tipo compactada fabricada con PRFV y pileta de recolección. Cuentan con ventiladores axiales que poseen palas de material plástico o aluminio permitiendo ajustar el ángulo de ataque a fin de lograr un punto de operación más eficiente con el consecuente ahorro de energía.



Figura 93. Torre de enfriamiento



Figura 94. Esquema de la torre de enfriamiento. Fuente: Equipamiento HD. En línea: https://www.hd.ind.br/home-esp.html?gclid=Cj0KCQiAhMOMBhDhARIsAPVml-HN2EPBBJm5s_7gUBtxCx253EH6HfGhLJBpCbNjy-4-DFEaKy1pkb4aAmmxEALw_wcB Modelo: EWK 1260. Torres compactas série 400. Modelo: HD-1403

Tabla 115. Características de la torre de enfriamiento adoptada

Datos	Valor
Potencia (kW)	14
Caudal de trabajo (m ³ /h)	Máximo 150 m ³
Largo (m)	1,66
Ancho (m)	2,4
Material	PRFV

Fuente: Elaboración propia.

9.2.2 Adopción de tanque de almacenamiento para el agua

Se decide la adopción de tres tanques, uno correspondiente para el agua de proceso (T-02), el otro para consumo general (T-03) y el último se debe a las pérdidas que pudieran producirse en la torre de enfriamiento (T-04).

Esta cantidad de agua es obtenida de la perforación subterránea en una sección del terreno del parque industrial, a una profundidad de 20 metros.

Tanque de almacenamiento correspondiente para agua de proceso T-02

A continuación, se muestra las características del tanque adoptado:

Tabla 116. Características del Tanque de almacenamiento

Datos	Valor
Posición del tanque	Vertical
Capacidad Máxima (m ³)	15
Material	Polietileno
Diámetro (m)	2,90
Altura(m)	2,61

Fuente: Elaboración propia.



Figura 95. Tanque de almacenamiento. Fuente: Duraplas. En línea: <https://duraplas-argentina.com/producto/10-000-lts#>. Modelo: COD: S15000

Tanque de almacenamiento correspondiente para uso general T- 03

A continuación, se muestra las características del tanque adoptado:

Tabla 117. Características del Tanque de almacenamiento

Datos	Valor
Posición del tanque	Horizontal
Capacidad Máxima (m ³)	1,2
Material	Polietileno
Ancho (m)	1,30
Largo(m)	1,70
Altura (m)	0,77

Fuente: Elaboración propia.



Figura 96. Tanque de almacenamiento de agua. Fuente: Duraplas. En línea: <https://duraplas-argentina.com/producto/1-200-Its Modelo: COD: ST1200FS>

Tanque de almacenamiento de agua para pérdidas en las torres de enfriamiento T-04

A continuación, se muestra las características del tanque adoptado:

Tabla 118. Características del Tanque de almacenamiento

Datos	Valor
Posición del tanque	Horizontal
Capacidad Máxima (m ³)	4,40
Material	Polietileno
Largo(m)	2,77
Alto(m)	1,65
Ancho(m)	1,35

Fuente: Elaboración propia.



Figura 97. Tanque de almacenamiento. Fuente: Duraplas. En línea: <https://duraplas-argentina.com/producto/3-000-ltsModelo:COD:ST4400FS>

9.2.3 Cálculo y adopción de bombas

Adopción de Bomba P-10

Bomba de extracción de agua de pozo. La misma extrae el agua subterránea, considerando una profundidad de pozo a 20 m debajo del nivel del suelo y descarga el agua extraída en 3 tanques de diferentes usos.

Para que la bomba de extracción no trabaje las 24 h, se define un factor de servicio del 50 %, permitiendo que solo funcione la mitad del día. De esta forma el caudal de extracción pasa a ser el doble.

Tabla 119. Adopción de bomba de succión P-10

Bomba P-10	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1 1/2-1
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	48,26- 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	40,90- 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3,03
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,64-1,51
Segunda sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	3/4
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm)	26,57
Diámetro interior de la cañería (mm)	20,83
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,16
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,76
Tercera sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	1/8
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm)	10,29
Diámetro interior de la cañería (mm)	6,83
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,20
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,52
Cuarta sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	3/8
Número de cédula	SCH 48
Diámetro exterior de la cañería (mm)	17,15
Diámetro interior de la cañería (mm)	12,53
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,67
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,51
Conjunto de secciones	
Presión de trabajo (atm)	1,30
Altura total de bombeo (m)	28,75
Potencia calculada (HP)	0,42
NPSH _{dis} (m)	2,34
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Drotec bombas industriales
Modelo	NDQ 25-160
Caudal máximo (m ³ /h)	17
Altura de descarga máxima (m)	36
Potencia (HP)	0,50
Velocidad (rpm)	2900
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura máxima (°C)	-50 a 200 °C

Fuente: Elaboración propia.

Adopción de bomba P-15

La misma traslada el agua desde el tanque T-02 hasta la TE-01.

Tabla 120 Características Bomba P-15

Bomba P-15	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40 – 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64 – 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,54
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,65 - 0,65
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	0
Potencia calculada (HP)	0,0014
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,30
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?qclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

Adopción de bomba P-16

La misma traslada el agua desde el tanque T-04 hasta la TE-01.

Tabla 121 Características Bomba P-16

Bomba P-16	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	13,72 – 13,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	9,24 – 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,18
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,76 - 0,76
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	0
Potencia calculada (HP)	0,004
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	0,46
Potencia (HP)	0,30
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?qclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEqEALw_wcB

Adopción de bomba P-17

La bomba P-17 traslada el agua de enfriamiento desde TE-01 hasta los 3 intercambiadores de calor del proceso E-01, E-02 y E-03. El primer tramo va desde TE-01 hasta E-03, mientras que el segundo se dirige hacia E-01 y el tercero hacia E-02.

Tabla 122 Características Bomba P-17

Bomba P-17	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	2- 1 1/4
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	60,33- 42,16
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	52,51- 35,04
Caudal volumétrico (m ³ /h)	5,57
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,71- 1,60
Segunda sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	1/8
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm)	10,29
Diámetro interior de la cañería (mm)	6,83
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,04
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,31
Tercera sección en serie/paralelo	
Diámetro nominal de la cañería (NPS)	1/8
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm)	10,29
Diámetro interior de la cañería (mm)	6,83
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,16
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	1,24
Conjunto de secciones	
Presión de trabajo (atm)	1,50
Altura total de bombeo (m)	9,65
Potencia calculada (HP)	0,26
NPSH _{dis} (m)	5,63
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	BC 75 M
Caudal máximo (m ³ /h)	8,50
Altura de descarga máxima (m)	10
Potencia (HP)	0,75
Viscosidad (cp)	Similar a la del agua
Temperatura máxima (°C)	0- 50°C

Fuente: <https://www.climatecnica.com/bombas-centr-fugas-motorarg-hmax.72.805.html#3101>

Adopción de bomba P-18

La misma traslada el agua desde el intercambiador E-03 hasta TE-01.

Tabla 123 Características Bomba P-18

Bomba P-18	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	13,72– 13,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	9,24– 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,005
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,02 - 0,02
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	1
Potencia calculada (HP)	0,0003
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	1,35
Potencia (HP)	0,30
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?qclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEqEALw_wcB

Adopción de bomba P-19

La misma traslada desde el intercambiador E-01 a TE-01

Tabla 124 Características Bomba P-19

Bomba P-19	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40– 33,40
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64– 26,64
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,94
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,47 - 0,47
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	0
Potencia calculada (HP)	0,002
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	1,35
Potencia (HP)	0,3
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?qclid=Cj0KcQIA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEqEALw_wcB

Adopción de bomba P-20

La misma traslada desde el intercambiador E-02 al mezclador ME-01.

Tabla 125 Características Bomba P-20

Bomba P-20	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	13,72– 13,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	9,24– 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,005
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,03 - 0,03
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	1
Potencia calculada (HP)	0,0003
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	1,35
Potencia (HP)	0,30
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

Adopción de bomba P-21

Se encarga de ayudar en el traslado del agua desde el T-02 hasta el T-05 donde me mezcla con CaCO_3 para el proceso.

Tabla 126. Características Bomba P-21

Bomba P-21	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	21,34 – 21,34
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	15,8 – 15,8
Caudal volumétrico (m^3/h)	0,39
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,56 - 0,56
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	4,18
Potencia calculada (HP)	0,01
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m^3/h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,30
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	0 – 50 $^{\circ}\text{C}$

Fuente: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

9.3. Calor

Una caldera es un equipo, que consta de una cámara de combustión donde se quema el combustible, y un intercambiador donde el calor producido por la combustión se trasmite al fluido calor portador, que lo lleva a los emisores a través de una red de tuberías. El fluido portador es generalmente agua (vapor), y sirve para aportar calor a alguna fase del proceso industrial al que está asociada la planta de generación.

El fluido térmico se va a utilizar para calentar la corriente I, y así esta logre cederle el calor correspondiente a la corriente M.

La cantidad correspondiente de vapor es de 166,0 kg por día. A continuación, se muestran las características de la caldera adoptada.

Tabla 127. Características de la caldera

Datos	Valor
Temperatura máxima (°C)	204
Presión Máxima (bar)	16
Capacidad Máxima (t/h)	0,2-2
Material	Acero
Profundidad(m)	0,6
Alto(m)	0,85
Ancho(m)	0,7



Figura 98 Caldera de Vapor.

Proveedor: AssistGas. Modelo: Peisa XP60.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-682643787-caldera-peisa-xp-60-solo-calefaccion-52000calh-de-pie-JM?matt_tool=80203390&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14545592783&matt_ad_group_id=125221141885&matt_match_type=&matt_network=q&matt_device=c&matt_creative=544135253017&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=151218009&matt_product_id=MLA682643787&matt_product_part_id=1403438596030&matt_target_id=aud-1250848972493:pla-1403438596030&qclid=CjwKCAiA-9uNBhBTEiwAN3lINCYNrAxoGOCma4yji_0jhniHD9xBUBzm9xGOOaa5_8UUTqJyHWBvhoCC_wQAvD_BwE

10. Tratamiento de efluentes

Los efluentes industriales son aquellos que no poseen un valor inmediato respecto al fin para el que se utilizaron inicialmente, dada la toxicidad que muchos de ellos poseen es necesario, previo al vertido un tratamiento que consiste en una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos cuyo fin es eliminar los contaminantes presentes, obteniendo así un efluente que no produzcan ningún tipo de contaminación al medio ambiente y a los seres vivos. Para determinar qué tipo de tratamiento a utilizar es necesario caracterizar el efluente, siendo, el color, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el pH, el olor, la turbiedad, el contenido de sólidos los parámetros más importantes.

10.1. Referencias

Tabla 128. Referencias de equipos en tratamiento de efluentes

Código	Equipo	Especificaciones
L-01	Laguna facultativa	Disminuir la carga orgánica y de sulfatos de la corriente Tw
T-08	Tanque de almacenamiento	Almacenar corriente J3
T-09	Tanque de almacenamiento	Almacenar corriente Pw y W
T-10	Tanque de almacenamiento	Almacenar corriente Tw tratada
P-11	Bomba centrífuga	Traslada purga de biofiltro Tw
P-12	Bomba centrífuga	Traslada efluente tratado Tw
P-13	Bomba centrífuga	Traslada purga Pw a T-09
P-23	Bomba centrífuga	Traslada W a T-09

Fuente: Elaboración propia

10.2. Tipos de efluentes

El proceso de obtención de biometano, se diseñó de tal manera para emanar la menor cantidad de efluentes posibles al medio ambiente. Entre ellos se encuentran:

10.2.1. Metales, vidrios plásticos

Al inicio del proceso, en la sección de inspección visual como así también en la separación de vidrios, plásticos y metales, se descartan 300 kg por día de los mismos, los cuales se derivan hacia el sector de reciclaje, ubicado en el mismo predio.

10.2.2. Purga de FIL-01

En el equipo de biofiltración FIL-01, mediante la corriente Tw, se eliminan los siguientes componentes:

- 0,0002 kgNTK/kgTw ó 183,59 mg/l
- 0,0007 kgP/kgTw ó 667,10 mg/l
- 0,004 kgH₂SO₄/kgTw ó 3.451,83 mg/l
- 0,0003 kgS₂/kgTw
- 3.561 mg/l de DQO

Pertenecientes a la corriente de biogás que ingresa al mismo.

La corriente residual se encuentra en estado líquido y puede ser destinado como relleno sanitario para residuos sólidos domésticos y dispuestos en celdas separadas, deberá respetar el límite que a

continuación se expone.

Según el decreto 415/99, modificado 2711/01, normas provinciales para la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, los límites máximos para la calidad de agua residual para el riego agrícola son:

- 250 mg/l de potasio
- 130 mg/l de sulfatos
- 30 mg/l de NTK
- 30 mg/l de NO_3
- 30 mg/l DBO

En el caso de la DQO, la norma no exige un parámetro, pero se tomará una aproximación de lo exigido para aguas superficiales, decreto 847, que consta de 300-250 mg/l de DQO, basándonos en que en cuanto a DBO se limita a 30 mg/l.

Como se observa en Tw, sobrepasa los límites permisibles para el vertido de ella como agua de riego en suelos, sobre todo la cantidad de sulfatos. Entonces se decide realizar un tratamiento anaerobio-aerobio.

Para el mismo se utilizan estanques facultativos, los cuales se adoptan generalmente para efectuar tratamientos de estabilización de aguas residuales con elevados contenidos de sulfatos, mediante la combinación de bacterias del tipo facultativas, anaeróbicas y aeróbicas, logrando reducir entre otros, el ion sulfato a ion sulfuro. En este proceso con efluente rico en sulfatos, va a existir una competencia entre bacterias por el sustrato orgánico disponible, para favorecer el predominio de las bacterias sulfatoreductoras (BSR) en dicho efluente es importante considerar la relación estequiométrica $\text{DQO}/\text{SO}_4^{2-}$, el cual es un parámetro de control importante en el tratamiento facultativo de ese tipo de aguas residuales. A una relación estequiométrica de 0,67 (g/g) teóricamente toda la materia orgánica es oxidada vía sulfato reducción, ya que se requieren 64 g de DQO para reducir 96 g de SO_4^{2-} y en teoría se podría operar en condiciones completamente sulfatorreductoras (Dar S.A.)

La corriente Pw requiere una estabilización en dicha laguna de 10 días, lo que permite obtener un producto final con las siguientes características:

- 278,55 mg/l de DQO
- 130 mg/l de SO_4^{2-}

De esta forma las corrientes se encuentran dentro de los límites permisibles para utilizarla como aguas de riego agrícola, municipal, etc.

El fluente ya tratado, se almacenará como máximo por 3 días, en una laguna de Geomembrana, similar a la anterior, para luego ser distribuido en diferentes zonas, como agua de riego.

En cuanto al dimensionamiento de dichos estanques son de mediana profundidad (entre 1 y 2,5 metros), y tienen un tiempo de retención de 5 a 30 días (Jade Latargere), mantienen oxígeno disuelto en las capas superiores y son anaerobias en las capas inferiores. Estas lagunas reciben una carga orgánica moderada, generalmente no producen malos olores. (Dr. Vazquez)

A continuación, se exponen las características del estanque adoptado para el tratamiento.

Tabla 129. Detalles del estanque L-01

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	2	m
Área	63,18	m ²
Largo	12,15	m
Ancho	5,20	m
Material	Geomembrana	-

Fuente: Elaboración propia.



Figura 99. Modelo Hipotético de Laguna Facultativa

Por otro lado, se cuenta con un estanque para el almacenamiento del líquido con una capacidad de almacenamiento de 3 días. En la Tabla 130 se especifican las dimensiones del mismo.

Tabla 130. Detalles de estanque T-10

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	2,50	m
Área	15,16	m ²
Largo	5,05	m
Ancho	3,00	m
Material	Geomembrana	-

Fuente: Elaboración propia.

10.2.3. Digestato Líquido

La corriente J3, la cual corresponde a una porción de la corriente líquida de digestato posee un caudal de 10.583,78 kg por día, su composición es la siguiente:

- 0,0192 kgN/kgJ3
- 0,0044 kgK/kgJ3
- 0,0001 kgP/kgJ3

Esta corriente tiene como destino almacenarse de forma semanal en un tanque, para luego ser entregada al cliente que decida comprar el fertilizante sólido, como agradecimiento por confiar en

nuestra empresa. A pesar de que hay una amplia variedad de fertilizantes líquidos compuestos, es más económico preparar soluciones nutritivas y distribuir las con un sistema de fertirriego.

Dicha corriente se acondicionará por el productor, según las necesidades específicas del cultivo y la relación N: P: K es ajustada de acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo, logrando así una óptima solución nutritiva. Es así como, distintas relaciones N: P: K pueden ser preparadas por el agricultor en su propio campo (INTA, 2020).

Es conveniente preparar soluciones madres concentradas que serán diluidas en el sistema del fertirriego

A continuación, se exponen las características del estanque adoptado para el almacenamiento semanal.

Tabla 131. Detalles del tanque T-08

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	4,00	m
Área	21,79	m ²
Largo	7,26	m
Ancho	5,79	m
Material	Geomembrana	-

Fuente: Elaboración propia.

10.2.4. Purga de R-03

La corriente W (agua) se une con la corriente Pw en estado líquido, que sale del reactor R-03, eliminando en total los siguientes componentes:

- 0,0001 kgNTK/kgPw
- 0,0031 kgNO₃/kgPw
- 0,0005 kgP/kgPw

Dicha corriente tiene el mismo fin que J3, ambas se almacenarán en tanques diferentes, debido a que sus composiciones son diferentes, proporcionándose de forma gratuita a los clientes.

A continuación, se exponen las características del tanque adoptado para el almacenamiento semanal.

Tabla 132. Detalles del tanque T-09

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	1,49	m
Volumen	3,00	m ³
Largo	2,37	m
Ancho	1,20	m
Material	polietileno virgen con protección U.	-

Fuente: Duraplas Argentina- En línea: <https://duraplas-argentina.com/producto/3-000-lts>



Figura 100: Tanque de Almacenamiento
Proveedor: Duraplas, Argentina Modelo: COD: ST3000FS

10.3. Traslado de efluentes

Adopción de bomba P-11

La bomba P-11 succiona el efluente que se retira por la parte inferior del biofiltro FIL-01 y es dirigido hacia la laguna de tratamiento L-01.

Tabla 133 Especificaciones Bomba P-011

Bomba P-11	
<i>Parámetros calculados</i>	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	3/4- 1/2
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,67- 21,33
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	20,93- 15,80
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,53
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,425- 0,74
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	3,42
Potencia calculada (HP)	0,0087
NPSH _{dis}	6,67
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Bombas HASA
Modelo	C0-350/03T
Caudal máximo (m ³ /h)	14,6
Altura de descarga máxima (m)	4
Potencia (HP)	0,496
Velocidad (rpm)	2.850
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	-50 a 250 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Bombas HASA.En
[lineahttps://www.bombahasa.com/es/productos/mx/electrobombas-monobloc-horizontal-en-acero-inoxidable/](https://www.bombahasa.com/es/productos/mx/electrobombas-monobloc-horizontal-en-acero-inoxidable/)

Adopción de Bomba P-12

La bomba P-12 succiona el efluente tratado en la laguna L-01 desde 1,5 m de profundidad y la descarga en un estanque T-10 para el almacenamiento del efluente.

Tabla 134 Especificaciones Bomba P-012

Bomba P-12	
<i>Parámetros calculados</i>	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1- 1/4
Número de cédula	SCH 40s
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	33,40- 13,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	26,64- 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,53
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,26- 2,18
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	7,76
Potencia calculada (HP)	0,02
NPSH _{dis}	9,02
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Drotec bombas industriales
Modelo	NDQ 25-160
Caudal máximo (m ³ /h)	17
Altura de descarga máxima (m)	9
Potencia (HP)	0,03
Velocidad (rpm)	1.450
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la mayores a la del agua
Temperatura (°C)	-50 a 200 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: Bombas Drotec. En [lineahttp://www.drotec.com.ar/folleto_html/bombas-centrifugas-normalizadas-linea-NDQ.html](http://www.drotec.com.ar/folleto_html/bombas-centrifugas-normalizadas-linea-NDQ.html)

Adopción de bomba P-13

La misma traslada la purga Pw del reactor R-03 hacia el tanque T-09

Tabla 135 Características Bomba P-13

Bomba P-13	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1/4-1/4
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	13,72 - 12,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	9,24 – 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,039
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,16 - 0,16
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	1,92
Potencia calculada (HP)	0,003
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	5
Potencia (HP)	0,33
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: *Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXjT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB*

Adopción de bomba P-23

La misma traslada la corriente W de la trampa de agua hacia el tanque T-09.

Tabla 136 Características Bomba P-23

Bomba P-23	
<i>Parámetros calculados</i>	
Primera sección	
Diámetro nominal de la cañería (NPS) succión-impulsión	1-1
Número de cédula	SCH 40
Diámetro exterior de la cañería (mm) succión-impulsión	13,72– 13,72
Diámetro interior de la cañería (mm) succión-impulsión	9,24– 9,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,05
Velocidad de la corriente (m/s) entrada-salida	0,21 - 0,21
Presión de trabajo (atm)	1
Altura total de bombeo (m)	1
Potencia calculada (HP)	0,0005
<i>Bomba adoptada</i>	
Fabricante	Motorarg
Modelo	PF 30 M
Caudal máximo (m ³ /h)	1,40
Altura manométrica máxima (m)	1,35
Potencia (HP)	0,3
Viscosidad (cp)	Aptas para viscosidades mayores que la del agua
Temperatura (°C)	0 – 50 °C

Fuente: Elaboración propia. MathCAD. Proveedor: https://www.climatecnica.com/bombas-de-agua_bombas-de-agua-para-aplicaciones-sanitarias_bombas-centrifugas-y-perifericas.70.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBb-4uJ0FUJA9FHsXJT7F6r7uGHOv2hL5B_dRffW71AHv-P7urplyMaAiEgEALw_wcB

11. Control de Calidad

A escala industrial la gestión de la calidad representa un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas, necesarias para detectar la presencia de desvíos o errores que puedan afectar la calidad del producto realizado.

De esta forma, contempla todos los elementos y variables que tengan incidencia en el producto, asentando los datos obtenidos, en documentos que permitan llevar un registro de estos.

Los mismos permiten identificar acciones que puedan llevar a bajas en la calidad del producto final. En base a estos datos se pueden efectuar acciones preventivas, o de lo contrario, si los parámetros se han desviado de sus valores óptimos, o los elementos (insumos, equipamiento) no son los habituales o adecuados, se deben efectuar acciones correctivas.

En el presente capítulo se establecerán los diferentes controles que se le realizarán a las variables de proceso, que comienza desde la materia prima que ingresa a planta, hasta productos finales e intermedios. Se describirán los métodos y técnicas de análisis necesarios en cada una de las etapas, y se dejarán establecidos los registros que se utilizarán en cada punto de control tanto para la inspección de las diferentes variables como para el asentamiento de los resultados de laboratorio.

Etapas de control

De acuerdo al esquema del proceso de producción de biometano explicado en el capítulo 6, se fijan tres etapas en las que se efectúan controles de calidad:

- Recepción de materia prima
- Proceso de producción
- Producto terminado.

El control de calidad de la línea de biometano se realiza mediante la toma de muestras para análisis. Los resultados arrojados mediante diferentes técnicas se utilizan para compararlos y verificarlos con estándares de calidad esperados por el proveedor de la materia prima, mismo consumidor del producto final. Cada de una de las pruebas realizadas debe registrarse. Los registros deben contener la siguiente información:

- Fecha y hora en la que se realizó el procedimiento.
- Personal que realiza la toma de muestra y/o su posterior análisis.
- Parámetro evaluado.
- Observaciones.

A continuación, se muestran los controles a realizar en las diferentes etapas:

Tabla 137. Ruta de control

Control de calidad							
Etapa	Punto de control	Tipo de control	Frecuencia de medición	Encargado		Especificaciones / Rangos	Código de registro
				Toma de muestra	Análisis		
Materia prima (MP)	Cinta transportadora	Visual-Físicoquímico	Continuo – Cada 12 h	- Operario	Operario Analista de laboratorio	Tabla 138	MP. R-001
	Ingreso	Visual	Continuo	-	Operario	Tabla 139	MP. R-002
	Ingreso	Visual	Continuo	-	Operario	Tabla 140	MP. R-003
Proceso (P)	Mezclador	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Intercambiadores	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Mezclador	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Reactor Anaeróbico	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Biofiltro	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Reactor Aerobio	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Sedimentador	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Compresor	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
	Mezclador	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142	
Sistema PSA	Automático	Continuo	-	Operario	Tabla 142		
Producto terminado (PT)	Sistema PSA	Físicoquímico	Cada 12 h	Operario	Analista de laboratorio	Tabla 141	PT. R-001
Agua de pozo	Salida de bomba	Físicoquímico	Una vez al día	Operario	Analista de laboratorio	¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.	A. R-001

Fuente: Elaboración propia.

11.1. Control de las materias primas

Todas las materias primas utilizadas en el proceso deben ser monitoreadas. En la recepción de las cargas de hidróxido de sodio y carbonato de calcio se controlará remito y la hoja de calidad correspondiente a esa partida. En el caso de la FORSU que se va a procesar, como se recibe de forma continua desde la planta de reciclaje, los controles visuales se realizaran de forma continua y los físicos químicos dos veces al día.

Las variables que se analizan son aquellas que pueden llegar a producir algún desvío en los parámetros establecidos.

13.1. FORSU

En cuanto a la caracterización del sustrato empleado en la alimentación, las variables a controlar con sus respectivos valores óptimos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 138. Control de materia prima

Determinación	Punto de toma de muestra	Rangos válidos	Unidad	Método Analítico
pH	Zona de inspección visual	6,6 a 7,7		Potenciómetro
Sólidos totales	Zona de inspección visual	75-90	% p/p	AOAC.930.15
Sólidos volátiles	Zona de inspección visual	60	% ST	AOAC.942.05
Relación C/N	Zona de inspección visual	15-45		

FUENTE: Elaboración propia.

Los datos correspondientes a los análisis realizados y datos obtenidos son plasmados en el MP. R-001, en la Figura 101 se muestra este registro; cuando los resultados se desvían de los límites de especificación dados en la Tabla 138, el analista de laboratorio debe notificar al área de producción para que este tome las medidas correctivas respectivas.

Versión 2021	Registro de análisis de FORSU				MP. R-001
Fecha:	Hora:		Responsable:		
Determinación	Peso (g)	Volumen (ml)	Valor	Unidad	
pH					
Sólidos totales					
Sólidos volátiles					
Relación C/N					

Figura 101. Registro de ingreso de FORSU, MP.R-001.

Fuente: Elaboración propia

13.2. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio es recibido en planta por los operarios de logística, previo a la descarga este debe controlar el remito y contrastar los datos del protocolo de análisis de la carga con los límites de calidad establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 139. Control de materia prima

Determinación	Punto de toma de muestra	Máximo permitido	Método Analítico
Sulfato (SO ₄)	Ingreso de materia prima	0,003%	A.C.S.
Cloruro (Cl)	Ingreso de materia prima	0,005%	A.C.S.
Componentes de nitrógeno (como N)	Ingreso de materia prima	0,001%	N/I
Metales pesados (como Ag)	Ingreso de materia prima	0,002%	N/I
Hierro (Fe)	Ingreso de materia prima	0,001%	A.C.S.
Níquel (Ni)	Ingreso de materia prima	0,001%	A.C.S.
Potasio (K)	Ingreso de materia prima	0,02%	N/I

FUENTE: Elaboración propia.

Luego de realizada la descarga del producto el operador de logística debe dejar registrado en el MP. R-002 (Figura 102) el número de remito y numero de protocolo de análisis correspondiente a la carga,

como también la cantidad ingresada. Cuando la carga no esté en especificación el operador de logística debe notificar al responsable de laboratorio para que este determine si habilitar la descarga o no.

Versión 2021	Registro de análisis de Hidróxido de sodio				MP. R-002
Fecha	Hora	Número de remito	Número de protocolo	Cantidad descargada (kg)	Apto para el uso

Figura 102 Registro de ingreso de NaOH, MP.R-002.

Fuente: Elaboración propia

13.3. Carbonato de calcio

El carbonato de calcio se recepciona en planta por los operarios de logística, previo a la descarga este debe controlar el remito y contrastar los datos del protocolo de análisis de la carga con los límites de calidad establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 140. Control de materia prima

Determinación	Punto de toma de muestra	Máximo permitido
Óxido de Silicio (SiO ₂)	Ingreso de materia prima	0,04 %m/m
Hierro (Fe)	Ingreso de materia prima	≤ 149,50 ppm
Aluminio (Al)	Ingreso de materia prima	≤ 0,10 ppm
Residuos por ignición	Ingreso de materia prima	≤ 55.0 %
Gravedad específica ASTM D 153	Ingreso de materia prima	2,56 g/cm ³
Humedad	Ingreso de materia prima	<0.50%
Retenido Mesh 325	Ingreso de materia prima	44.0%

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizada la descarga del producto el operador de logística debe dejar registrado en el MP. R-003 (Figura 103) el número de remito y número de protocolo de análisis correspondiente a la carga, como también la cantidad ingresada. Cuando la carga no esté en especificación el operador de logística debe notificar al responsable de laboratorio para que este determine si habilitar la descarga o no.

Versión 2021	Registro de análisis de Carbonato de calcio				MP. R-003
Fecha	Hora	Numero de remito	Numero de protocolo	Cantidad descargada (kg)	Apto para el uso

Figura 103 Registro de ingreso de CaCO₃, MP.R-003.

Fuente: Elaboración propia

13.4. Agua de Pozo

El agua de pozo debe de cumplir una serie de características para poder ser utilizada, por ello es necesario un previo análisis y el tratamiento necesario. Los parámetros a controlar con sus respectivos valores óptimos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 141-Parametros a controlar

Determinación	Punto de control	Rangos válidos	Unidad	Método Analítico
Sales totales	A la salida de la bomba de extracción	<1000 agua segura; <3000 agua aceptable, 3000-5000 puede causar rechazo; >5000 inadecuada	ppm	Gravimetría
pH	A la salida de la bomba de extracción	7	uph	Potenciometría
Conductividad	A la salida de la bomba de extracción		mS/cm	Potenciometría
Dureza permanente	A la salida de la bomba de extracción	400 máx (CAA)	ppm	Titulación
Calcio	A la salida de la bomba de extracción	200 máx (OMS)	ppm	Titulación
Magnesio	A la salida de la bomba de extracción	100 máx (OMS)	meq CaCO ₃ /l	Titulación
Alcalinidad	A la salida de la bomba de extracción	1500 máx	mg/l (ppm)	Titulación
Carbonatos	A la salida de la bomba de extracción		mg/l (ppm)	Titulación
Bicarbonatos	A la salida de la bomba de extracción		meq CaCO ₃ /l	Titulación
Cloruros	A la salida de la bomba de extracción	7000 máx	ppm	Titulación
Sulfatos	A la salida de la bomba de extracción	<500	ppm	Turbidimetría
Nitratos	A la salida de la bomba de extracción	100 máx	ppm	Turbidimetría
Nitritos	A la salida de la bomba de extracción	10 máx	ppm	Turbidimetría

Fuente: Elaboración propia

Los datos correspondientes a los análisis realizados y datos obtenidos son plasmados en el A. R-001, en la se muestra este registro; cuando los resultados se desvían de los límites de especificación dados en la Tabla 138, el analista de laboratorio debe notificar al área de producción para que este tome las medidas correctivas respectivas.

Versión 2021	Registro de análisis de Agua		A. R-001
Fecha:	Hora:		Responsable:
Determinación	Volumen (ml)	Valor	Unidad
Sales totales			
pH			
Conductividad			
Dureza permanente			
Calcio			
Magnesio			
Alcalinidad			
Carbonatos			
Bicarbonatos			
Cloruros			
Sulfatos			
Nitratos			
Nitritos			

Figura 104. Registro de análisis de extracción de agua de pozo, A. R-001.

Fuente: Elaboración propia

11.2. Control de los productos

11.2.1. Biometano

Conocer las especificaciones y características técnicas del producto que se produce es indispensable no solo para la selección del mercado y la exigencia de los clientes, sino que también es de gran importancia para el control periódico del rendimiento del proceso. El producto principal, biometano, se le debe realizar un control de laboratorio cada 12 h, con el fin de obtener un producto que asegure una óptima calidad y seguridad. En la siguiente tabla se especifican los componentes que deben ser removidos en la purificación del biometano, por ende, son los que deben ser controlados en el producto final:

Tabla 141. Especificación técnica del Biometano producido.

Biometano			
Determinación	Limites	Normas	Responsable
Metano (CH ₄)	>98 %		Analista de laboratorio
Dióxido de carbono (CO ₂)	≤2 %	ASTM D 1945/ GPA 2261/ IRAM-IAP A 6852	Analista de laboratorio
Agua (H ₂ O)	0,065 g/m ³	ASTM 1142/IRAM-IAPG A 6856	Analista de laboratorio
Oxígeno (O ₂)	0,2 %	ASTM D 1945/ GPA 2261/ IRAM-IAP A 6852	Analista de laboratorio
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	≤0,01 mg/m ³	GPA 2377/ IRAM – IAPG A 6860	Analista de laboratorio
Temperatura máxima	50 °C	ISO 6976/IRAM-IAPG A 6854	Analista de laboratorio
Poder calorífico	10,80 kWh/m ³	GPA 2172/ ISO 6976/ IRAM- IAPG A 6854/ ASTM D3588	Analista de laboratorio
Densidad	720 kg/m ³		Analista de laboratorio
Índice de Wobbe	14,40 kWh/m ³	GPA 2172/ ISO 6976/ IRAM- IAPG A 6854/ ASTM D3588	Analista de laboratorio

FUENTE: Elaboración propia

Las determinaciones realizadas y resultados obtenidos son registradas en el PT. R-001 como se muestra en la Figura 105. Cuando algún o algunos de los valores obtenidos están desviados de los límites de especificación el analista de laboratorio debe notificar al supervisor de producción para que tome las acciones correctivas correspondientes.

Versión 2021	Registro de análisis de Biometano			PT.R-0001
Fecha:	Hora:		Responsable:	
Determinación	Peso (g)	Volumen (ml)	Valor	Unidad
Metano (CH ₄)				
Dióxido de carbono (CO ₂)				
Agua (H ₂ O)				
Oxígeno (O ₂)				
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)				
Temperatura máxima				
Poder calorífico				
Densidad				
Índice de Wobbe				

Figura 105 Registro de control de producto, PT.R-0001.

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tomar una muestra cada 12 h, las misma debe ser trasladada hacia el laboratorio, en el cual, si el producto se encuentra dentro de los parámetros óptimos, generara un certificado para disponible para el cliente informando lo mismo.

Certificado de análisis			
Establecimiento:			
Identificación muestra:			
Lote:			
N° muestra:			
Condición de llegada:			
Fecha de muestreo:			
Fecha ensayo:			
Composición			
Detalle	Resultado	Unidad	Método
Metano		%	
Dióxido de carbono		%	
Agua		g/m ³	
Oxígeno		%	
Sulfuro de Hidrogeno		mg/m ³	
Poder calorífico		kWh/m ³	
Densidad		kg/m ³	
Índice de Wobbe		kWh/m ³	

Figura 106 Certificado de análisis final de cada partida.

Fuente: Elaboración propia.

11.3. Control del proceso de producción

En forma adicional de los controles que se le realizan a las materias primas y producto fabricado; se implementa un sistema de control automático en los distintos equipos del proceso, poniendo énfasis en aquellos puntos considerados como críticos que pueden afectar la calidad del producto o funcionamiento de la planta. Este accionar tiene como resultado un estricto control de las variables del proceso, repercutiendo de manera directa en la calidad final del producto.

Los controles de proceso los realizará el operador de planta, y el analista de laboratorio realizará el muestreo y las determinaciones a las etapas intermedias del proceso que requieran un control.

A continuación, se detallan los parámetros a inspeccionar, sus valores óptimos y sus correspondientes tolerancias para las etapas de mayor importancia del proceso.

11.3.1. Plan de control de proceso

Todos los controles que se le realizan al proceso son plasmados en un “Plan de control de proceso”, en donde se describen las variables que se deben controlar en cada una de las etapas del proceso,

como así los límites de especificación, la frecuencia en que se debe realizar, los responsables de la realización, y las acciones preventivas y/o correctivas que se deben tomar en caso de un desvío.

En la siguiente tabla se muestra el “Plan de control de control de proceso”.

Tabla 142. Plan de control de proceso

Plan de control de proceso							
Equipo	Corriente	Variable	Limite	Frecuencia	Técnica	Responsable	Ac/Ap
ME-01	M	Temperatura	50± 0,5 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones de la corriente de ingreso de agua
R-01	K	Temperatura	50± 0,5 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
		Presión	1 ± 0,2 atm	1 hora	CA		
		Caudal	164,12 m³/h ± 1,64	2 hora	CA		
	N	Composición de gas (CH ₄)	60 v/v % ±5	1 hora	T-018	Analista de Laboratorio	
		pH	7,1 ± 0,5	1 hora	T-001	Operador de planta	
		Temperatura	50± 0,5 °C	1 hora	CA		
HE-01	P	Temperatura	30± 1 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo Controlar temperatura del agua de enfriamiento.
M-03	Pt	Temperatura	30 ± 1 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar el caudal de agua de la corriente Pc
	Pi	Caudal	128,64 kg/h ± 10	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo D-02
R-03	Ps	Concentración de NO ₃	15,58 kg/m ³ ± 1	1 hora	T-019	Analista de Laboratorio	Verificar condiciones operativas del equipo
		Oxígeno disuelto	4 g/m ³ ± 0,5		CA		
		Edad de lodos	< 20 días		CA		Verificar variables de proceso
M-02	Pe	Caudal	376,22 kg/h ± 10	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
F-02	T	Temperatura	30 °C ± 1°C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
	Te	Concentración (H ₂ S)	0 v/v % ± 0,05		CA	Analista de laboratorio	
C-01	Ui	Presión	6 atm ± 0,5	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
HE-02	Ue	Temperatura	67,42 ± 1 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
	I	Caudal	123,14 kg/h ± 5	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del sistema de enfriamiento
		Temperatura	78,7± 1°C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
HE-03	U	Temperatura	20 ± 1 °C	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar condiciones operativas del equipo
PSA	V	Presión	6 atm ± 0,5	1 hora	CA	Operador de planta	Verificar sistema de conducción de gas

11.4. Métodos Analíticos

11.4.1. Análisis de FORSU

Determinación de pH en materia prima (T-001)

Procedimiento

Calibrado del aparato. Se sigue las instrucciones del fabricante, en cada caso, para el medidor de pH y para conservación y preparación de los electrodos para su uso. Las soluciones recomendadas para conservación de los electrodos a corto plazo varían con el tipo de electrodo y el fabricante, pero generalmente tienen una conductividad superior a 4.000 $\mu\text{ohmios/cm}$. El agua del grifo es mejor sustituto que la destilada, pero la mejor para el electrodo simple de vidrio es tampón pH 4, y es preferible KCl saturado para un electrodo de referencia de calomelanos y Ag/AgCl. La solución preferida para un electrodo combinado es KCl saturado. Se mantiene los electrodos húmedos, devolviéndolos a la solución para almacenado siempre que no se utilice el medidor de pH. Antes de su uso, se debe extraer los electrodos de la solución de conservación, lavar y secar con un paño suave, y ajustar el punto de isopotencial. Se selecciona un segundo tampón cuyo pH no se diferencie en más de 2 unidades del de la muestra y llevar la muestra y el patrón a la misma temperatura, que puede ser la de la habitación, una fija (por ejemplo, 25°C), o la de una muestra reciente. Se saca los electrodos del primer tampón, se lava bien con agua destilada, luego se seca y sumerge en el segundo tampón. Se registra la temperatura media y se ajusta el mando de temperatura de la prueba (este es un ajuste de pendiente). Se saca los electrodos del segundo tampón, se lava bien con agua destilada y luego se seca los electrodos como se indicó antes. Se sumerge en un tercer tampón por debajo de pH 10, aproximadamente 3 unidades distintas del segundo; la lectura no debe diferir más de 0,1 unidad de pH del tercer tampón. Posteriormente calibrado el equipo, se coloca la muestra y se mantiene en agitación constante. Se procede a introducir el electrodo y cuando el valor se ha estabilizado se anota el resultado.

Determinación de sólidos en materia prima (T-002)

Muestreo

Manipulación y preservación de la muestra

Se utilizan botellas de plástico o vidrio refractario, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente. Se inicia el análisis lo antes posible, pues resulta poco útil preservar la muestra. Se refrigeran a 4 °C hasta realizar el análisis, para reducir al mínimo la descomposición microbológica de los sólidos.

Sólidos totales

Instrumental

- Placas de evaporación: placas de porcelana de 100 ml
- Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C
- Baño de vapor
- Desecador, provisto de un esecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad
- Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C
- Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg

Procedimiento

Preparación de la placa de evaporación: Se incinera una placa de evaporación limpia a 550 ± 50 °C durante una hora en un horno de mufla. Si solamente se intentan medir sólidos totales, se calienta la placa limpia a 103- 105 °C durante una hora. Se conserva la placa en el desecador hasta que se necesite. Luego se pesa inmediatamente antes de usar.

Análisis de la muestra: se elige un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Luego se transfiere un volumen medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente y se evapora hasta que se seque en un horno de secado. En caso necesario, se añade a la misma placa, después de la evaporación, nuevas porciones de muestra. Si la evaporación se lleva a cabo en un horno de secado, se reduce la temperatura hasta 2 °C aproximadamente por debajo del punto de ebullición, a fin de evitar salpicaduras. Se seca la muestra evaporada al menos durante una hora en horno a 103-105 °C, se enfría la placa en desecador para equilibrar la temperatura y luego se pesa. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 % del peso previo o menor de 0,5 mg (escoger la menor de ambas).

$$mg \text{ de sólidos tótales}/l = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Volumen de muestra, ml}}$$

Dónde:

A= peso de residuo seco + peso de placa, mg, y

B= peso de placa, mg

Determinación de sólidos volátiles totales en materia prima (T-003)

Materiales y equipos:

- Desecador
- Cápsulas de porcelana tras evaporación + residuo de evaporación 105 °C.
- Mufla (550 °C)
- Balanza analítica
- Pinza metálica

Procedimiento

Una vez pesado y registrado el valor de las cápsulas de la determinación de sólidos totales del afluente (peso de la cápsula tras evaporación + residuo de evaporación 105 °C), se someten a combustión en la mufla a 550 °C durante 15 min.

Transcurrido ese tiempo, se pasan las cápsulas al desecador alrededor de un tiempo máximo de 10 a 15 minutos, para asegurar que estas estén frías.

Se pesan las cápsulas una a una con los residuos sólidos volátiles, reportar los datos obtenidos., los mismos se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$mg \text{ sólidos volátiles}/L = \frac{(B - C) * 1000 \text{ mg/g}}{v}$$

Dónde:

B=peso de la cápsula de evaporación + residuo tras evaporación a 105 °C, g.

C=peso de cápsula de evaporación +residuo tras combustión a 550 °C, g.

v=volumen de la muestra, L.

11.4.2. Análisis en agua de pozo

Muestreo

Los envases utilizados para contener las muestras deben ser de material adecuado, deben estar limpios y rotulados para permitir la correcta identificación de estas.

Es conveniente realizar el análisis de la muestra inmediatamente después del muestreo, si ello no es posible, se aconseja refrigerar a 4°C para minimizar la actividad biológica que con su metabolismo modifica la composición de la muestra.

Turbidez en agua de pozo (T-004)

La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.

Procedimiento

Para realizar todas las mediciones se procede a la toma de muestras. Para conocer la turbidez se llena la cubeta especial de 1 cm x 1 cm con el agua tomada teniendo la precaución de limpiar bien las paredes transparentes de la cubeta, ya que serán atravesadas por la luz del turbidímetro y cualquier impureza en ellas puede influir en la medida. Después se introduce la cubeta en el turbidímetro, se cierra y el aparato da la medida de la turbidez en una pantalla digital.

Todos los resultados referentes al análisis de aguas posibles se encuentran en la tabla a continuación:

Tabla 144. Valores de turbidez en agua

Valores de turbidez	
Turbidez recomendada	14,27 unt
Turbidez mejorada	11,19-13,6 unt

Conductividad en agua de pozo (T-005)

Indica la concentración aproximada total de constituyentes en el agua, por ende, está relacionado con la suma de cationes y aniones determinados químicamente y, por ello correlaciones con el total de sólidos disueltos.

El nivel de conductividad representa unos valores umbrales que indican el tipo de agua:

- 0,5 a 3 Us/cm Agua destilada
- 50 a 100 Us/cm agua potable
- 500 a 1000 Us/cm agua de río
- 100000 Us/cm agua industrial
- 53000 Us/cm agua de mar

Para ello se toma una muestra del agua en un vaso de precipitados y se introduce el dispositivo para medir el oxígeno disuelto de forma que quede bien cubierto, tras unos segundos el aparato ofrece una medida en su pantalla digital.

Temperatura de agua de pozo (T-006)

Existen datos tabulados que indican la pureza del agua según su temperatura:

Tabla 145. Pureza del agua según la temperatura

Calidad del agua	Pura	Poco contaminada	Contaminada	Muy contaminada	Excesivamente contaminada
Temperatura (°C)	<20	<22	<25	<30	>30

Procedimiento

Se toman muestras directamente en un vaso de precipitados y se mide su temperatura con un termómetro de mercurio procurando que no toque las paredes.

Nitritos en agua de pozo (T-007)

Introducción

El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/l, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0,1 mg/l. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato.

Para determinar la cantidad de nitritos en las muestras tomadas se realiza por medio de un espectrofotómetro UV-VIS.

Procedimiento:

Colecte la muestra en envase de vidrio ámbar o plástico y no le adicione ningún preservante. El tamaño mínimo de muestra para determinar NO_2^- es de 100 ml. Se puede tomar de la muestra recibida para Fósforo Soluble siempre y cuando el volumen sea suficiente para los dos analitos.

La determinación debe hacerse lo más pronto posible una vez recogida la muestra para prevenir la posible conversión bacteriana de NO_2^- a NO_3^- o NH_3 . Para preservaciones cortas de 1 a 2 días, guardar a 4°C. Filtrar únicamente en el momento de realizar el análisis.

- I. Solicite las muestras mediante el formato TF0061, deje aclimatar y filtre solo en el momento del análisis, a través de membrana de acetato de celulosa de 0.45 micrómetros. Las muestras con sólidos suspendidos abundantes, fíltrelas primero con un prefiltro de fibra de vidrio.
- II. Curva de Calibración. Prepare una curva de calibración cada vez que cambie de solución de coloración (lote de reactivo), o de solución patrón de nitrito. Para la preparación, ver numeral III.
- III. Encienda el Espectrofotómetro UV-VIS con la lámpara de tungsteno, 45 minutos antes de iniciar las lecturas, tenga en cuenta el manual TM0166, cuyo diagrama de flujo está ubicado en la pared al lado del equipo, para especificar los rangos de medición. La lectura de nitrito debe hacerse a 543 nm. Cargue la última curva de calibración.
- IV. Verifique que la celda de vidrio de 1 cm esté perfectamente limpia, si la observa manchada de color rosado déjela en jabón aproximadamente 15 minutos, hágale un lavado con H_2SO_4 al 5% y enjuáguela perfectamente con agua desionizada.
- V. Cuando vaya a iniciar la lectura de la curva de calibración, transfiera una alícuota de 25,0 ml del blanco (agua ultrapura) y los estándares en erlenmeyer de 125 ml y adicione 1 ml del reactivo de coloración, deje desarrollar color y comience la lectura después de 30 minutos, pero antes de 2 horas después de su adición lea el blanco como blanco y como muestra y los estándares, como estándares y como muestras, siguiendo las instrucciones del equipo.

Aparatos, reactivos y materiales

- Espectrofotómetro UV-VIS marca Hewlett Packard modelo 8453, detector de arreglo de diodos, ancho de banda de 0.1 nm, provisto de una celda de vidrio con paso de luz de 1.0 cm, y consta de lo siguiente: Sistema óptico revertido de haz sencillo. Fuente de radiación, lámpara de tungsteno. Monocromador Detectores fotodiodos y a su vez arreglo de diodos.
- Balanza analítica electrónica con aproximación de 0.0001 g.

Reactivos

Agua libre de nitritos. Agua UP, obtenida mediante un purificador Labconco WaterPro PS. Reactivo de coloración. A 800 ml de agua agregar 100 ml de ácido fosfórico del 85% y 10 g de sulfanilamida, agitar y disolver totalmente. Agregar 1 g de N- (1- naftil)-etilendiamina diclorhidrato. Mezclar hasta disolver, y diluir a 1 l con agua. Esta solución es estable hasta por seis meses si se guarda en una botella oscura y en refrigeración.

Preparación de la solución patrón de 250 mg N - NO₂- /L a partir de un patrón trazable. Tome 250 ml de Nitrito de sodio trazable de 1000 mg N - NO₂- /l, asegúrese que la concentración corresponda a las unidades mencionadas y lleve a volumen en un balón de 1000 ml.

Solución stock de nitrito, 250 mg N - NO₂-/l a partir del sólido: El NaNO₂ comercial grado reactivo es de mínimo 99% de pureza. Como el NO₂- se oxida fácilmente en presencia de humedad, usar un frasco de reactivo reciente para preparar la solución patrón y guardar los frascos herméticamente tapados cuando no estén en uso. Disolver 0,6161 g de nitrito de sodio y diluir a 500 ml en balón aforado con agua ultrapura, 1 ml = 250 mg/l. Almacene esta solución en la nevera de reactivos y preserve con 1 ml de cloroformo. Este patrón tiene una vida útil de 6 meses

Materiales

- Balones aforados clase A de 100, y 250 ml.
- Erlenmeyer de 125 ml.
- Pipetas aforadas clase A de 2, 5, 10, 20 y 25 ml.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 ml.
- Probeta de vidrio de 25 ml.
- Pipeta Pasteur.
- Microespátula.
- Celda de vidrio.
- Papel para limpiar lentes.

Nitratos en agua de pozo (T-008)

Introducción:

La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta (UV) mide la absorbancia del nitrato (NO₃-) a 220 nm y es adecuada para la determinación rápida de NO₃- y el monitoreo de aguas con bajo contenido de materia orgánica, como aguas naturales sin contaminar y fuentes de agua potable.

Aparatos

- Espectrofotómetro, para usar a 220 nm y 275 nm con celda de cuarzo de 1 cm de longitud de paso óptico, lámpara de deuterio.
- Equipo de filtración al vacío 7.2.

Reactivos

Agua libre de nitrato. Usar agua UP para preparar todas las soluciones y diluciones.

Solución patrón de nitrato. Secar nitrato de potasio (KNO_3) al 99% o mayor, en un horno a 105°C por 24 h. Disolver 0,1805 g en agua UP y diluir a 250 ml; 1,00 ml = $100 \mu\text{g NO}_3 - \text{N}$. Preservar con 0,5 ml de CHCl_3/l . Esta solución es estable por lo menos 6 meses.

Solución intermedia de nitrato. Diluir 100 ml de la solución patrón de nitrato a 1000 ml con agua UP; 1,00 ml = $10,0 \mu\text{g NO}_3 - \text{N}$. Preservar con 2 ml de CHCl_3/l . Esta solución es estable por lo menos 6 meses.

Solución de ácido clorhídrico, HCl, 1 N. Diluir 83 ml de HCl concentrado en 800 ml de agua UP, completar 1000 ml.

Materiales

- Balones aforados de 200, 100 y 50 ml.
- Pipetas aforadas de 25, 10, 3 y 2 ml
- Erlenmeyer de 125 ml
- Pipeta graduada de 10 ml
- Celda de cuarzo de 1 cm
- Pipeta Pasteur
- Vasos de precipitados de 100 ml
- Probeta de 25 ml
- Filtros de acetato de celulosa $0.45 \mu\text{m}$

Procedimiento de análisis

Preparación de la curva estándar. Mida 25 ml de cada uno de los estándares de trabajo y transferirlos a un erlenmeyer de 125 ml. Adicione 0,5 ml de solución de HCl 1 N y mezclar muy bien.

Preparación de la Muestra. Solicite las muestras mediante el formato TF0061, deje aclimatar y filtre solo en el momento del análisis, a través de membrana de acetato de celulosa de 0,45 micrómetros. Las muestras con sólidos suspendidos abundantes, filtrarlas primero con un prefiltro de fibra de vidrio. Filtre aproximadamente 100 ml de muestra. Con cada lote de muestras analice un blanco, un duplicado, un estándar de 0,2 mg/l y uno de 1,0 mg/l. Purgue una probeta de 25 ml con la muestra filtrada, blanco o estándar, mida 25 ml y transferirlos a un erlenmeyer de 125 ml, reserve el resto del filtrado para posibles diluciones. Adicione 0,5 ml de solución de HCl 1 N y mezclar muy bien

Medición espectrofotométrica. Encienda el Espectrofotómetro UV-VIS con la lámpara de tungsteno, 45 minutos antes de iniciar las lecturas, tenga en cuenta el manual TM0166, cuyo diagrama de flujo está ubicado en la pared al lado del equipo, para especificar los rangos de medición. La lectura de nitrato debe hacerse a 220 y 275 nm. Cargue la última curva de calibración. Verifique que la celda de vidrio de 1 cm esté perfectamente limpia, si la observa manchada déjela en jabón, hágale un lavado con H_2SO_4 al 5% y enjuáguela perfectamente con agua desionizada.

Para iniciar las lecturas fotométricas, coloque el blanco de reactivos en la celda, léalo como blanco, verifique la observación de una línea recta horizontal en el rango de la longitud de onda, inmediatamente léalo como muestra y codifíquelo como BLANCO, la absorbancia debe registrar cifras exponenciales de 10^{-4} y 10^{-5} , continúe con los estándares de control en orden creciente desde el de más baja concentración, léalos como muestras, siguiendo las instrucciones del equipo. Almacene los datos en la carpeta del año correspondiente, en la sub carpeta Nitratos. Grabe la curva, los estándares y las muestras de dicha curva de calibración, archivándola por la fecha en que se realizó, dos dígitos para

día, mes y año (dd/mm/aa), en las carpetas Curvas, Estándares y Muestras respectivamente. Imprima el reporte en papel y entréguelo al Líder de análisis para su aprobación. Registre los resultados de los estándares con 2 cifras significativas en la carta de control, verifique que los valores se encuentren dentro del rango de 2 (s) desviaciones estándar por encima o por debajo, respecto del valor teórico esperado. Ajustar el cero de absorbancia con agua UP. Leer la absorbancia a una longitud de onda de 220 nm para obtener la lectura de NO₃ – y a una longitud de onda de 275 nm para determinar la interferencia debida a la materia orgánica disuelta. En muestras con absorbancia a 275 nm mayor a 0,200 uA diluya, aunque el contenido de nitratos esté dentro del rango de medición.

Sulfatos en agua de pozo (T-009)

Introducción

Los sulfatos pueden tener su origen en que las aguas atraviesen terrenos ricos en yesos, o a la contaminación con aguas residuales industriales. El contenido de este no suele presentar problemas de potabilidad para las aguas de consumo, pero, contenidos superiores a 300 mg/l pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de estos en las aguas de consumo.

Se pueden determinar por método gravimétrico, volumétrico y nefelométrico. Este último se recomienda, preferentemente, para la determinación de sulfatos en aguas con contenidos superiores a 60 mg/l. El ion sulfato (SO₄⁻²) precipita, en un medio de ácido acético, con ion Ba⁺², de modo que forma cristales de sulfato de bario (BaSO₄), los que deben mantenerse en suspensión durante un período de tiempo que resulte suficiente para medir la absorbancia que la misma produzca. El contenido de SO₄ de cada muestra se obtiene a partir de la curva de calibración previamente obtenida.

Materiales y métodos

Las determinaciones se realizaron en el espectrofotómetro Génesis-10 UV-visible

Método de análisis

La determinación de la concentración de sulfato en las muestras realizada mediante el método turbidimétrico. El protocolo para seguir para la determinación de iones sulfato en disolución, requiere de una curva de calibración en el intervalo de 20,0-100,0 mg/l de sulfato, preparadas a partir de una disolución patrón interno de sulfato de sodio (1 000 mg/l). Las muestras se filtran a través de papel para precipitados finos, evitando así, la interferencia en la determinación de cualquier componente que se encuentre en suspensión. Los patrones y muestras se llevan a un volumen final de 10 ml, en matraces aforados, con agua destilada. El contenido de cada matraz se depositó en tubos de ensayos de 30 ml de capacidad, para facilitar la agitación. Se añadió 1 ml de disolución tampón (45 ml de agua destilada, 4,5 ml de HCl concentrado, 15 ml de etanol absoluto, 7,5 ml de trietilenglicol y 11,25 g de NaCl), se agitó y se adicionó una punta de espátula de BaCl₂. La mezcla resultante fue agitada durante un minuto en vortex (Haildolph REAX2000) y se dejó reposar otro minuto. La determinación fue realizada en el espectrofotómetro UV-Visible Genesys 10 a D.O450

Olor valor umbral T-010

El valor umbral de olor es la dilución máxima que es necesario efectuar con agua destilada para que el olor del agua original sea apenas perceptible.

Procedimiento

- I. Mezclar una parte del agua en cuestión con 3, 4 o 5 partes de agua destilada (hasta percibir apenas el olor del agua a temperatura ambiente).
- II. Anotar las partes de agua libre de olor agregada.

Observación: Si se agregan 5 partes de agua pura a 1 parte del agua en cuestión, el valor umbral es $1+5=6$.

Valores superiores a 1 indican agua contaminada

Determinación de carbonatos y bicarbonatos en aguas (T-011)

Introducción

Dentro de las especificaciones que da el Código Alimentario Argentino para el agua para consumo humano, se encuentra la determinación de alcalinidad a la fenolftaleína y de alcalinidad total, que son valoraciones ácido-base comparable a la determinación de carbonatos y bicarbonatos

Materiales

Bureta de 25 ml graduada en 0,1 ml y otros materiales convencionales para volumetría.

Reactivos

- Ácido clorhídrico 0,05 N (R3)
- Solución alcohólica de fenolftaleína 1% (R4)
- Solución de heliantina (naranja de metilo) 1% (R2)

Procedimiento

Si el pH de la muestra de agua es superior o igual a 8,3, se determina carbonatos y bicarbonatos. Si el pH varía entre 4,2 y 8,3 se determinan bicarbonatos.

- I. Tomar una alícuota de 25 ml de muestra y llevar a 50 ml con agua destilado.
- II. Agregar de 3 a 5 soluciones de fenolftaleína.
- III. Valorar con ácido clorhídrico hasta la decoloración y registrar el volumen empleado.
- IV. Al mismo Erlenmeyer agregar de 1 gota de heliantina y continuar la valoración hasta la aparición del color rosado salmón. Esta segunda parte de la determinación se efectúa partiendo del volumen gastado en la primera parte, es decir, que no debe volver a llenarse la bureta. Registrar el volumen gastado.
- V. Determinar la concentración de carbonatos y bicarbonatos presentes teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
 - Las reacciones son de tipo equivalente-equivalente.
 - El carbonato tiene dos equivalentes por mol, mientras que el bicarbonato tiene sólo uno.
 - El carbonato reacciona con el ácido para formar bicarbonato. Cuando todo el carbonato haya reaccionado se produce el viraje de la fenolftaleína.
 - El bicarbonato presente en la muestra, más el bicarbonato formado a partir del carbonato, forman ácido carbónico con el agregado del ácido. Al momento del viraje de la heliantina, todo el bicarbonato ha reaccionado para formar ácido carbónico.

Esquema de trabajo

Cálculos:

$$\frac{\text{CO}_3^{-2} \text{ meq/l} \cdot \text{ml HCl (ó H}_2\text{SO}_4) \times 2 \times \text{N} \times 1000}{V}$$

V

$$\frac{\text{O}_3^{-2} \text{ mCeq/l} \cdot \text{ml HCl (o H}_2\text{SO}_4) \times 2 \times \text{N} \times 1000}{V}$$

V

Determinación de cloruros en aguas (T-012)

Valoración por precipitación

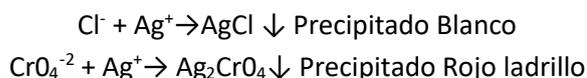
Introducción

Esta técnica es un método para la determinación de cloruro en aguas de bebidas, aguas superficiales y en efluentes domésticos e industriales.

Cloruro en aguas se expresan en mg de Cl/l que contiene el agua titulada de acuerdo al procedimiento especificado.

Principio: se agrega iones plata a una solución de pH comprendido entre 7 y 10 que contenga iones cloruro y cromato, la precipitación de cloruro de plata está prácticamente terminada cuando comienza a precipitación del cromato de plata, la concentración de iones de cloruro es despreciable desde el punto de vista analítico.

Este hecho permite considerar la aparición del precipitado rojo de cromato de plata como una indicación del punto final de la reacción entre iones y cloruro y los iones de plata.



Materiales:

- Bureta color caramelo.
- Pipeta de 100 ml.
- Erlenmeyers de 250 ml.
- Demás materiales de uso del laboratorio.

Reactivos: todos los reactivos deben ser de grado analítico.

- El agua destilada o desionizada, libre de dióxido de carbono por ebullición durante 10 minutos antes de su uso y libre de cloruros.
- Solución estándar de nitrato de plata 0,0141N. (R5)
- Indicador: cromato de potasio al 5% p/v. (R6)
- Suspensión de hidróxido de aluminio. (R7)
- Peróxido de hidrogeno al 30%. (R8)

Procedimiento:

Pipetear en una probeta, 15 ml de muestra y llevar a 100 ml de muestra al agua destilada. Ajustar la muestra de pH entre 7 y 10 pasar a Erlenmeyer 250 ml.

Si la muestra es altamente coloreada, agregar 3 ml de suspensión de hidróxido de aluminio, mezclar, sedimentar y filtrar.

Si existe presencia de sulfuro, sulfito o tiosulfato, agregar 1 ml de peróxido de hidrogeno y calentar por un minuto.

Agregar 1 ml de cromato de potasio (indicador amarillo).

Titular el contenido del Erlenmeyer, con agitación, añadiendo solución de nitrato de plata hasta coloración rojiza apenas perceptible.

Si el volumen utilizado en la valoración es superior a 25 ml conviene repetir la determinación sobre una muestra diluida en forma adecuada o utilizar menos cantidad de muestra.

Llevar a cabo un blanco para cada tanda titulada. En las mismas condiciones.

Registrar los ml. Gastados con una precisión de 0,1ml.

Realizar los cálculos correspondientes y expresar el resultado en mg de Cl/l.

Cálculos:

$$N = P \times V / 58,5 \times G$$

Donde:

N: normalidad del nitrato de plata en eq/l.

P: masa de NaCl pesado para la preparación de la solución estándar de cloruro de sodio, g.

V: volumen de la solución estándar de NaCl tomando para la valoración de la solución de nitrato de plata, 20 ml.

G: gasto de nitrato de plata en su valoración, ml.

$$\text{Cl}^- \text{mg/l} = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{V}$$

A= ml de AgNO₃ 0, 1 N gastados en la muestra.

B= ml de AgNO₃ - 0,1 N gastados en el ensayo en blanco, con agua destilada.

N= normalidad del AgNO₃

V= volumen del alícuota problema.

Repetitividad: la diferencia absoluta entre dos resultados, sobre la misma muestra, no debe ser superior a 0,5 mg de Cl/l.

Determinación en dureza total en aguas (T-013)

Valoración complejométrica

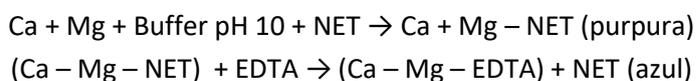
Referencia: norma AOAC 33082-edición N°12/1975.

Introducción:

Esta técnica es un método por titulación para la determinación de dureza total en aguas de bebida, aguas superficiales y en efluentes domésticos e industriales.

Por definición dureza total son los mg de CaCO₃/l que contiene el agua titulada de acuerdo al procedimiento especificado en la técnica.

Principio: Los iones calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetra-acetato disódico. El punto final de la titulación es el detectado por el indicador negro de Eriocromo-T, el cual posee un color rosado en presencia de calcio y magnesio, al formar un complejo con EDTA.



Materiales:

- Pipetas de doble aforo de 25 y 50 ml.

- Bureta de 25 ml.
- Erlenmeyers de 250 ml.
- Probeta plástica de 10 ml.

Reactivos:

- Solución buffer (R10)
- Indicador NET (negro de eriocromo T). (R11)
- Solución standard de EDTA 0,01M (R12)
- Solución standard de calcio de 1.000 mgCaCO₃/l (R13)

Procedimiento:

Diluir 25 ml de muestra a 50 ml con agua destilada en un Erlenmeyer de 250 ml.

Agregar 2 ml de solución buffer y 2.000 mg de indicador.

Titular con la solución de EDTA lentamente, con agitación continua, hasta que el ultimo tinte rojo haya desaparecido. A partir de allí agregar cada gota de EDTA con intervalos de 3 – 5 segundos, hasta el color azul brillante que indica el punto final de la titulación.

Notas:

- El magnesio debe estar presente para lograr un punto final satisfactorio y es agregado como MgEDTA.
- El punto final se hace más claro con el aumento del pH, pero un pH demasiado alto puede causar precipitados de hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio y cambios en el color del tinte. El pH optimo es 10,0 ±0,1.
- El tiempo límite para efectuar la titulación de manera de minimizar los precipitados, es de 5 minutos.
- Las interferencias por metales pesados se pueden minimizar agregando cianuro.

Cálculos:

$$E = P \times V1/G1$$

Donde:

E: mg de CaCO₃equivalentes a 1000 ml de EDTA

P: mg CaCO₃/l de la solución estándar de calcio

V1: volumen de solución de EDTA consumidos en la titulación

$$\text{Dureza total, mg CaCO}_3/\text{l} = E \times G2/V2$$

Donde:

V2: volumen de muestra tomados para la determinación, ml

G2: volumen de solución de EDTA consumidos en la titulación de la muestra, ml.

Repetitividad:

La diferencia absoluta entre dos resultados simples, sobre idéntica muestra, realizados por el mismo analista con un pequeño intervalo de tiempo, no debe ser superior a 2 mg de CaCO₃/l.

Determinación de pH (T-014)

Valoración por potenciometría

Introducción:

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se califica como básica. Una solución con pH 7 será neutra.

El valor de pH representa el menos logaritmo en base diez de la concentración (actividad) de iones hidrogeno (H^+). Como la escala es logarítmica, la caída en una unidad de pH es equivalente a un aumento de 10 veces más concentración de H^+ .

Materiales:

- Peachímetro.
- Vaso de precipitado de 5 ml.

Reactivos:

- Solución buffer pH 4
- Solución buffer pH 7
- Solución buffer pH 10
- Cloruro de potasio (almacenamiento de electrodos). (R14)

Procedimiento:

Colocar en un vaso precipitado 25 – 30 ml de la muestra de agua a temperatura ambiente y leer el Peachímetro previamente calibrado con los patrones para pH.

Interpretación de los resultados:

La determinación del pH en una muestra de agua, además de demostrarnos si resulta acida, neutra o alcalina, orienta la determinación de carbonatos, bicarbonatos o hidróxidos.

Cuando el pH es igual o menor a 4,2, hay en disolución anhídrido carbónico. Si el pH varía entre 4,2 y 10,5 hay en disolución carbonatos y bicarbonatos.

De acuerdo a lo que antecede, cuando en el agua el pH es igual o menor a 4,2 debe determinarse anhídrido carbónico disuelto.

Entre 4,2 y 8,3 se determinan bicarbonatos.

Cuando el pH es mayor a 10,5 debe determinarse la presencia de hidróxidos.

Los resultados del pH del agua pueden ser los siguientes:

Tabla 146 A. Resultados de pH

	pHmetro	Papel indicador
Mejorada	8,2	7,5 - 8,5
Recomendada	7,5	7,5

Determinación de calcio (T-015)

Método por complejometría

Introducción:

Los iones calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetraacetato disódico. Si el pH es suficientemente alto (12 o 13) como para que el magnesio precipite como hidróxido, el calcio puede ser determinado directamente. El punto final de la titulación es detectado por indicador murexida, el que vira de rosado a púrpura en el punto final.

Materiales:

- Matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Buretas de 25 ml.
- Pipetas aforadas de 10 ml.
- Pipetas graduadas de 1 ml.
- Matraz aforado de 1000 ml.

Reactivos:

- Hidróxido de sodio 10N. (R17)
- Reactivo indicador negro de Eriocromo-T (NET) (R11)
- Reactivo indicador murexida (R16)
- Solución titulante de EDTA 0.01M (R12)
- Solución buffer (R10)
- Solución estándar de calcio (R13)

Procedimiento:

Tomar en un Erlenmeyer de 250 ml un volumen de muestra que requiera un gasto de EDTA menor a 15 ml. Diluir 25 ml de la muestra con agua destilada. Agregar 1 o 2 ml de solución NaOH 10 N. el pH deberá estar entre 12 y 13.

Agregar una punta de espátula de reactivo indicador de murexida.

Titular con solución de EDTA lentamente y agitando continuamente hasta viraje de color de la solución de rosado a púrpura. Luego del punto final agregar 1 o 2 gotas más de solución de EDTA para verificar que el color no cambia.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Dureza de calcio, mgCaCO}_3 / \text{l} &= E \times G / V \\ \text{Calcio, mg / l} &= E \times G / V \times 2,5 \end{aligned}$$

Donde:

E: mg de CaCO₃ equivalentes a 1000 ml de EDTA

V: volumen de muestra tomados para la determinación, ml

G: gasto de solución de EDTA consumidos en la titulación de la muestra, ml

Determinación de magnesio (T-016)

Método por cálculo

Principio:

Se estima la concentración de magnesio como la diferencia entre la dureza total y la dureza de calcio.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{MG mg/l} &= (\text{dureza total} - \text{dureza calcio}) \times 0,243 \\ \text{Dureza de Mg, mg CaCO}_3 / \text{l} &= (\text{dureza total} - \text{dureza calcio}) \end{aligned}$$

Reactivos

ATENCIÓN: para el manejo de las drogas tener en cuenta las medidas de seguridad indicadas en la hoja de seguridad de cada reactivo.

*Determinación de sólidos totales (T-017)*Método gravimétrico a 103-105 °CIntroducción:

Los sólidos son materiales suspendidos y disueltos en el agua. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro de varias maneras.

Los “sólidos totales” se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 – 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro).

Los sólidos secados entre 103 – 105°C pueden retener aguas de cristalización y también agua ocluida. Como resultado de la conversión del bicarbonato de carbonato, habrá una pérdida de CO₂. La pérdida de material orgánico por volatilización será por lo general muy pequeña.

Materiales:

- Capsulas de aluminio
- Estufa de circulación de aire
- Desecador
- Equipo de calentamiento

Procedimiento:

Preparación para la evaporización: se debe limpiar el recipiente de evaporación de sólidos volátiles calentándolo en una mufla a 550°C por 1 hora. Guardar en desecador y pesar inmediatamente antes del uso.

Análisis de la muestra:

Evaporar 3 ml de la muestra a baño maría (90°), 2°C por ebullición del agua

Secar la muestra evaporada a 103 – 105°C por 1h.

Guardar el recipiente caliente en el desecador hasta igualar a temperatura ambiente y pesar.

Repetir el ciclo hasta peso constante.

Calculo:

$$\text{Sólidos totales (mg/l)} = (A - B) \times 1000 / \text{Volumen de muestra (ml)}$$

Donde:

A= peso de recipiente + residuo seco (mg)

B= peso del recipiente (mg)

Repetitividad:

La diferencia entre resultados sucesivos, obtenidos con el mismo método, sobre materiales de prueba idénticos y bajo las mismas condiciones (mismo operador, mismos aparatos, mismo laboratorio y al mismo tiempo) no debe ser $\pm 5\%$.

11.4.3. Análisis de producto final- Biometano

La fotometría y espectrometría NDIR son comúnmente utilizadas para el análisis químico debido a la capacidad de la radiación infrarroja de interactuar con una gran variedad de moléculas. Cuando la radiación infrarroja atraviesa un gas, parte de ella será absorbida disminuyendo así la intensidad de la radiación resultante. El análisis cuantitativo se utiliza, entonces, para determinar la cantidad o concentración de un analito, basándose en la Ley de Lambert-Beer. Puesto que las moléculas absorben radiación infrarroja en bandas específicas a la molécula, comparar la radiación incidente y resultante a dichas longitudes de onda específicas permite la cuantificación de la concentración de la muestra. La

Ley de Lambert-Beer expresa la absorción de radiación como una relación lineal con la concentración de la muestra a una longitud de onda específica. Si el camino óptico de la muestra y la longitud de onda se mantienen constantes, se puede obtener un gráfico de calibración de absorbancia versus concentración. El gráfico puede utilizarse luego para determinar concentraciones desconocidas de componentes de una muestra o gas.

Actividad Infrarroja (T-018)

Para que una molécula sea activa en el espectro infrarrojo, debe presentarse un cambio en el momento dipolar de esta. Un momento dipolar eléctrico ocurre cuando dos átomos adyacentes de una molécula tienen diferente electronegatividad o carga eléctrica, separadas por una distancia, representada por un vector. El momento dipolar se define como el producto entre la carga eléctrica y el vector de separación. Un cambio en el momento dipolar ocurre cuando la distancia entre los átomos que lo forman cambia debido a vibraciones o rotaciones de la molécula, lo cual da origen a un campo electromagnético oscilante. La radiación electromagnética oscilando a la misma frecuencia puede, entonces, interactuar y ser absorbida por la molécula, resultando en un cambio en los niveles de energía e incrementando así la vibración y/o rotación.

Los gases monoatómicos o diatómicos homonucleares no presentan actividad en el espectro infrarrojo. Gases monoatómicos como el argón (Ar) poseen solamente un átomo y, por lo tanto, no pueden presentar un momento dipolar. Los gases diatómicos homonucleares como el oxígeno (O₂) y el nitrógeno (N₂) poseen átomos adyacentes con electronegatividades idénticas, por lo que la rotación o vibración no representa un cambio en el momento dipolar. Cualquier otro gas que no cumpla con los criterios mencionados será activo en el espectro infrarrojo, por ejemplo, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂).

La aplicación de cálculo de poder calorífico y demás parámetros asociados se puede realizar con dicho analizador de gases. Debido a que los hidrocarburos son activos en el espectro infrarrojo, es posible utilizar este método como una alternativa a los métodos tradicionales aplicando las ecuaciones de cálculo de la norma ISO 6976. Se miden simultáneamente los tres componentes mayoritarios del gas natural, es decir, metano (CH₄), etano (C₂H₆) y propano (C₃H₈), así como dióxido de carbono (CO₂), y sobre la base de ellos se calculan el poder calorífico, densidad relativa, índice de Wobbe y porcentaje de nitrógeno (%N₂).

Las características son resumidas en la siguiente figura:

Analizador multicomponente
Medición continua y simultánea de hasta cuatro componentes
Hasta cuatro rangos de medición por componente libremente ajustables, suprimible 1:20
Cambio de rango manual ó automático con reporte de estado
Monitoreo de límites de medición con reporte de estado
Operación y calibración sin gases patrón
Operación desde el frente a través del vidrio
No requiere abrir el gabinete EEx-d
Calibración automática con celdas de calibración interna y aire ambiente
Estabilidad de celdas de calibración mayor a diez años, confirmada por TÜV
Hermeticidad de celdas debido a soldadura de metal en vidrio
Seguridad y confiabilidad
Gabinete de aluminio a prueba de explosión (EEx-d) de acuerdo a ATEX Categoría II 2G
No requiere purga con nitrógeno para su instalación
Apto para instalación en área clasificada ATEX Zona 1 y CSA Clase 1 Div 1
Operación y conexiónado sin apertura del gabinete EEx-d
Cableado EEx-d realizado en fábrica
Cálculo de poder calorífico
Medición continua de CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ y CO ₂
Cálculo de poder calorífico superior (CVs) según ISO 6976
Cálculo de poder calorífico inferior (CVi) según ISO 6976
Cálculo de densidad relativa (rD) según ISO 6976
Cálculo de índice de Wobbe (Wi) según ISO 6976
Cálculo de porcentaje de nitrógeno (% N ₂) según ISO 12213/3

Figura 107. Características del Analizador multicomponentes de gases

11.4.4. Análisis en proceso

Concentración de nitrato en corriente líquida (T-019)

Cromatografía de iones.

Introducción:

Método utilizado para el análisis de aniones. Es una técnica separativa. Todos los métodos cromatográficos tienen en común la utilización de una fase estacionaria y una fase móvil, las separaciones están basadas en las diferencias en la velocidad de migración entre los componentes de la muestra.

En general los cromatógrafos disponen de:

- Un módulo de introducción de la muestra (inyección)
- Una columna cromatográfica.
- Un detector.
- Un sistema de procesado de datos.

Procedimiento:

- I. En la fase móvil (cromatografía líquidos) un líquido arrastra la muestra hasta la columna cromatográfica. En cromatografía de gases será un gas, con preferencia por el helio. En este punto es donde se disuelve la muestra.
- II. En la columna cromatográfica se separan todos los componentes.
- III. En la fase estacionaria los aniones interaccionan de manera diferente.
- IV. Se inyectan los patrones.
- V. En el detector se obtienen una serie de picos simétricos (cromatogramas). Esta gráfica es útil tanto para el análisis cualitativo como cuantitativo las posiciones de los picos sobre el tiempo se pueden emplear para identificar los componentes de la muestra, las áreas de los picos proporcionan una medida cuantitativa de la cantidad de cada especie (ejemplo en 3 minutos aparece el ion cloruro y a los 15 minutos el ion sulfato).

12. Obras Civiles

12.1. Introducción

En el presente capítulo se describen las obras civiles a realizar en el terreno seleccionado, donde se instalará la planta de producción de biometano. Se detalla, además, la distribución física de todas las áreas que la conforman y se confecciona el lay out de los equipos involucrados en el proceso productivo.

La distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas, adicionalmente facilita el flujo de materiales, aumenta la eficiencia en la implementación de mano de obra y equipos, al mismo tiempo que reduce los riesgos y peligros para los trabajadores.

Los sectores con los que cuenta la planta se detallan a continuación:

- Estacionamiento
- Hall de acceso y recepción
- Oficinas administrativas
- Sala de reuniones
- Cocina y comedor
- Baños y vestuarios
- Laboratorio
- Oficina panel de control
- Área de producción
- Taller de mantenimiento
- Depósito
- Espacio de circulación de camiones

12.2. Descripción general del establecimiento

Como se mencionó en el capítulo 4, la planta se ubica en Justiniano Posse, provincia de Córdoba, en el mismo terreno que la planta de reciclaje. El predio tiene una superficie de 35.000 m², de los cuales solo 6.000 m² se encuentra ocupado actualmente y cuenta con todos los servicios anteriormente mencionados. En la Figura 108 se observa el terreno seleccionado, el cual se ubica sobre la ruta provincial N°6, en latitud 32°53'39.7"S y longitud 62°38'53.2"W. Su único acceso es el correspondiente a la planta de reciclaje, el cual se encuentra hacia el sur y es una calle de ripio.

Como primera disposición, se alza para el predio un cerco perimetral con premoldeados de hormigón armado y alambre olímpico (romboidal) con terminación de tres líneas de alambres de púa. El mismo tiene una altura de 5 m y una extensión de 72 m de fondo y 80 m de frente.

En cuanto a las instalaciones edilicias propiamente dichas, se encuentran bajo techo y paredes de hormigón el área de depósito, el edificio administrativo, laboratorio, baños y vestuarios, comedor, cocina, oficina de panel de control y mantenimiento. En cuanto al área de producción, permanece al aire libre.

Antes de determinar el área de cada sector, se fijan las consideraciones hechas a tal objetivo:

- Maximizar la funcionalidad de cada sector y de la planta en su totalidad.
- Minimizar el área cubierta y los desplazamientos de vehículos y personal.

- Tener en cuenta futuras ampliaciones e incorporaciones de equipos.
- Promover una eficiente comunicación entre las áreas y las personas que allí se encuentran.
- Facilitar el flujo de corrientes y de información.

En la Tabla 46 se muestran las edificaciones a emplazar y la superficie que tendrá cada una de estas. Por último, en la Figura 111 se exhibe la distribución general de la planta, mientras que en el Anexo 5 se adjuntan los planos correspondientes.



Figura 108. Terreno seleccionado para el funcionamiento de la planta
Fuente: googlemaps

Tabla 147. Identificación de sectores

Identificación	Sector	Superficie (m ²)
1	Estacionamiento	120
2	Garita de seguridad	6
3	Hall de acceso y recepción	27
4	Oficinas administrativas	48
5	Sala de reuniones	15
6	Baños y vestuarios	25
7	Cocina y comedor	25
8	Laboratorio	24
9	Oficinas de panel de control	24
10	Área de producción	2.130
11	Taller de mantenimiento	24
12	Depósito	24
13	Zona de circulación	2.295,69

Fuente: Elaboración propia

12.2.1. Sector 1: Estacionamiento

A la derecha del ingreso al establecimiento se encuentra el estacionamiento que presenta un sector para bicicletas y motocicletas y otro para automóviles, quedando un área ocupada de 120 m², distribuidos en 8 m de ancho y 15 m de largo.

Para los automóviles se considera un ancho designado para cada auto de 2,5 m y un largo de 5 m, por lo que dicho estacionamiento tiene capacidad para 6 vehículos. Se opta por una orientación a 90°, reservando el primer lugar de cada lado para personas con discapacidad.

Las características constructivas del sector son:

- Se encuentra debidamente señalizado.
- Presenta luminaria pertinente.
- La estructura es de hierro y con el objetivo de proteger a los vehículos se colocan toldos impermeables.

12.2.2. Sector 2: Garita de seguridad

Al ingreso del predio, antes de la planta de reciclaje se encuentra el puesto de seguridad con barrera de paso, de tal manera que se encargue de la seguridad de ambas plantas. En dicha cabina, se controla la entrada y salida del personal (mediante reloj biométrico), como así también de proveedores, clientes y visitas.

El edificio ya se encuentra construido y presenta un área de 8 m². En su interior se encuentra un escritorio, un baño y una computadora para llevar a cabo los registros necesarios.

12.2.3. Sector 3: Hall de acceso y recepción

Al frente del estacionamiento se encuentra el edificio administrativo. Al ingreso se halla la recepción con unas medidas de 4,5 m x 6 m que se comunica con el comedor y hacia la izquierda se encuentran los accesos hacia las oficinas. El sector está construido de ladrillo block de hormigón de 20 cm x 20 cm x 40 cm, con una altura de 3 metros y un techo de hormigón con viguetas.

En el interior, la recepción cuenta con un escritorio y dos sillones de espera. El sector se comunica con la sala de reuniones hacia la derecha y con las oficinas administrativas a su izquierda.

12.2.4. Sector 4: Oficinas administrativas

En este sector se encuentran las oficinas, las cuales comparten el mismo ambiente y se encuentran separadas por box realizadas con placas de durlock. La edificación posee una altura de 3 metros, construida de ladrillos block de hormigón de 40 cm x 20 cm x 20 cm y techo de loza con pintura impermeabilizante. Aquí realizan sus tareas cada una de las jefaturas de la empresa, entre ellas, logística, administración, calidad, producción, marketing, etc. Las oficinas presentan un área total de 48 m², con un largo de 8 m y un ancho de 6 m.

12.2.5. Sector 5: Sala de reuniones

En esta sección hay una mesa con sillas, donde se podrán llevar a cabo las reuniones que sean necesarias dentro de la institución. Además, la sala cuenta con un proyector y un televisor para poder visualizar desde planteos de problemáticas, soluciones y resultados. Posee las mismas características constructivas que las oficinas administrativas, un ancho de 6 m y un largo de 2,5 m, representando en total un área de 15 m².

12.2.6. Sector 6: baños y vestuarios

Se encuentran próximos a la sala de reuniones, oficinas y comedor. Entre los sanitarios de hombres y mujeres, representan 25 m² (5 m x 5m).

Las características constructivas que se visualizan en este espacio son:

- Paredes hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 cm x 20 cm x 20 cm de 3 metros de altura
- Pisos con mosaicos graníticos.
- Instalación de electricidad, agua y gas natural.
- El techo es de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante para el techo.
- Terminaciones con revoque grueso, fino y pintura látex en todo el espacio.
- Aberturas de aluminio.
- Recubrimiento con azulejos hasta los 1,6 m de altura.

El vestidor debe estar equipado con un casillero metálico por empleado, con dos compartimentos donde los operarios puedan dejar sus pertenencias o ropa de calle en uno y en el otro que puedan guardar su uniforme de trabajo. Además, en la zona de vestuarios hay percheros y bancos.

12.2.7. Sector 7: Comedor y cocina

Detrás de las oficinas se encuentra la cocina y comedor, el cual cuenta con un área de 15 m², distribuidos en 5 m de ancho por 5 m de largo, con una capacidad de 13 personas. Este está construido de ladrillo block de hormigón de 20 x 20 x 40 centímetros, con una altura de 3 metros y un techo de hormigón con viguetas. Allí el personal puede desayunar, almorzar, cenar y consumir sus colaciones durante los breaks. El comedor está equipado con mesas y sillas.

La cocina tiene los electrodomésticos necesarios como heladera, microondas y cocina. Además, el mobiliario incluye bajo mesada y la totalidad de los utensilios necesarios.

En la Figura 109 se pueden observar las edificaciones descritas en los sectores 1, 3, 4, 5, 6 y 7.

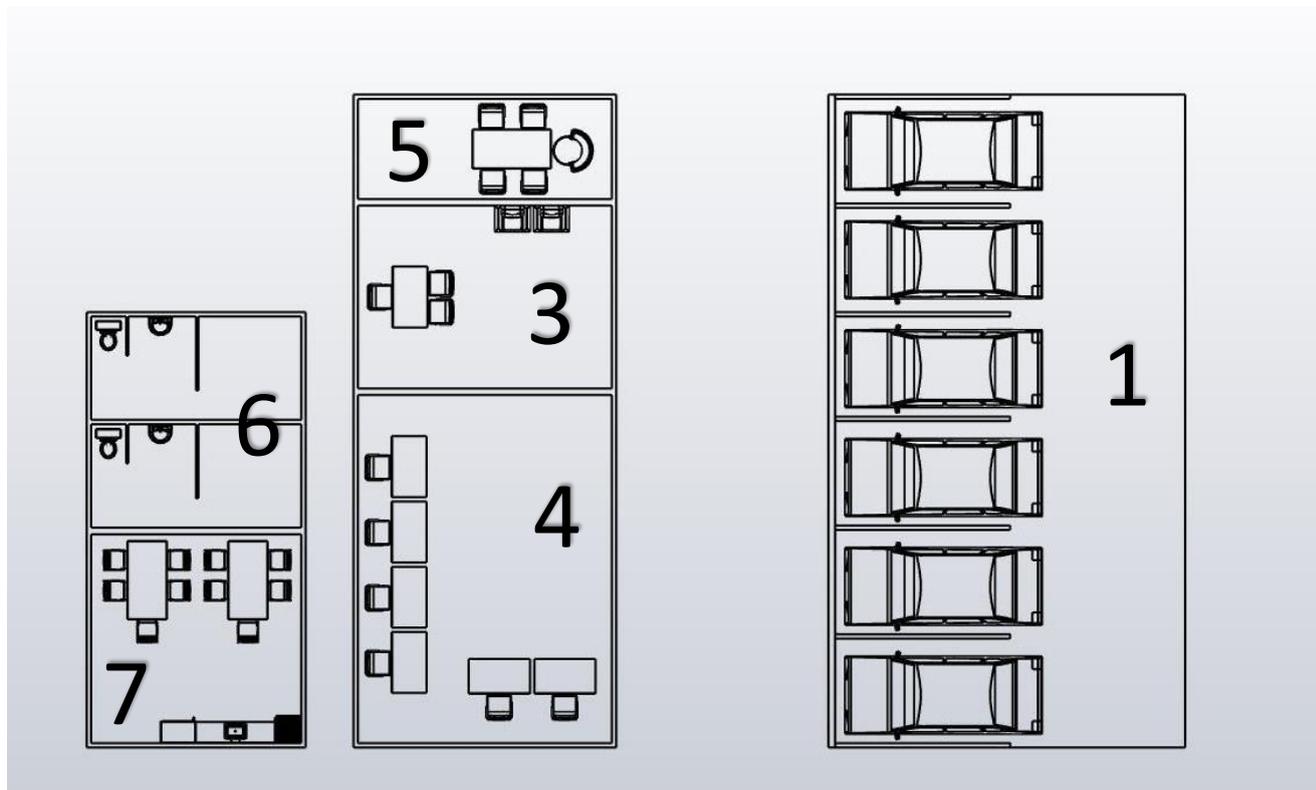


Figura 109. Distribución de sector 1,3,4,5,6 y 7.
Fuente: Elaboración propia

12.2.8. Sector 8: Laboratorio

La planta cuenta con un pequeño laboratorio destinado a la realización de pruebas estándares de calidad; tanto de materias primas como de producto terminado.

Posee paredes de 3 metros de altura con ladrillo block de hormigón y un techo flotante de durlock. En su interior dispone de pisos de cerámico, y paredes con pintura látex de color blanco.

Los ángulos de uniones deben ser redondeados para facilitar la limpieza y evitar la acumulación de suciedad. Otra característica es que las puertas deben abrirse hacia el exterior, y su altura debe ser desde el suelo al techo. En el lugar pueden hacerse ensayos fisicoquímicos y microbiológicos.

El laboratorio tiene una superficie total de 24 m², con 4 m de largo y 6 m de ancho, y contiene:

- Sistema de ventilación para la renovación de aire mediante rejillas con mallas metálicas que impiden el ingreso de insectos.
- Área de lavado de equipos y vajilla.
- Área de preparación de medio.
- Espacio provisto para refrigeradores, freezers y otros equipos.

12.2.9. Sector 9: Oficina de panel de control

En esta sala, se lleva a cabo el control de la producción, donde mediante un sistema SCADA se regulan los equipos y parámetros del proceso.

La superficie ocupada es de 24 m², 4 m de largo y 6 m de ancho. Las paredes están hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 cm x 20 cm x 20 cm de 3 metros de altura.

Esta oficina cuenta con dos sillas y 2 computadoras para llevar a cabo dichos controles.

12.2.10. Sector 10: Área de producción

Es el área más importante y representativa de la planta. Se divide en dos sectores, uno corresponde al pretratamiento mientras que el otro, al procesamiento. El primer sector, cuenta con una zona techada de 8,87 m de largo por 2,6 m de ancho (23,06 m²) que involucra a los equipos S-01, S-02, M-01 y las cintas transportadoras; mientras que el segundo sector tiene un techo de 9,68 m de largo y 2,18 m de ancho (21,10 m²) que sirve como resguardo a los equipos ME-02, R-03, S-04, E-01 y K-01 ,otro de 11 m x 5 m para el resguardo de los equipos, ME-01a, ME-01b, SL-02a y SL-02b; y por último, para el resguardo de la caldera F-01, cuyas medidas son 1m x 2 m. Los demás equipos se encuentran a la intemperie.

Cabe aclarar que el sector no cuenta con paredes, y el techo es de chapa de zinc a dos aguas y con desagües pluviales de PVC.

Las medidas de la totalidad del área de producción de la zona de pretratamiento son de 15 m de largo y 53 m de ancho, representando una superficie de 795 m²; mientras que la zona de producción cuenta con 37 m de largo y 28 m de ancho, representando una superficie de 1.036 m².

12.2.11. Sector 11: Taller de mantenimiento

Para el taller de mantenimiento se provee un espacio de 6 m de largo y 4 m de ancho, representando un área de 48 m². La sala tiene 2,5 metros de alto con techo de chapa acanalada galvanizada, las paredes son de ladrillo bloque hormigón de 40 cm x 20 cm x 20 cm hasta los 2 metros de altura, luego la pared continúa de chapa acanalada galvanizada.

12.2.12. Sector 12: Depósito

Este sector se utiliza como depósito de equipos y repuestos del stock que posee la fábrica. Tiene la misma estructura edilicia que el taller de mantenimiento y un área igual a 48 m².

En la Figura 110 se pueden observar las zonas descritas en los sectores 8, 9, 11 y 12.

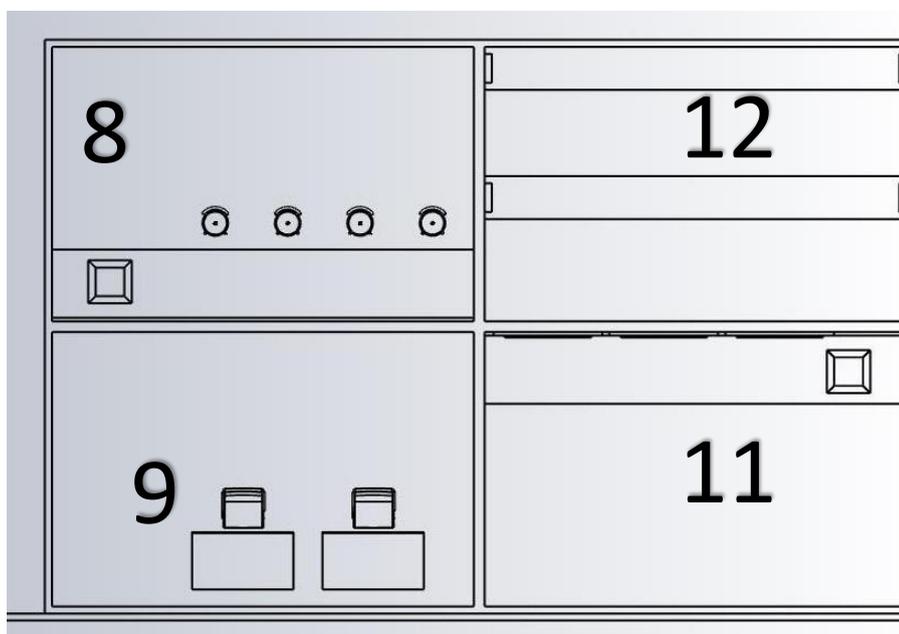


Figura 110. Disposición de sector 8,9, 11 y 12
Fuente: Elaboración propia

12.2.13. Sector 13: Zona de circulación

Se prevé un sector para que camiones o vehículos que deben ingresar a la fábrica puedan hacerlo sin inconvenientes. Se cuenta con una zona de circulación al oeste de 37 m de largo por 16,37 m de ancho, de tal manera que se permita que los vehículos puedan girar sin problemas. Por otro lado, del lado este de la zona de producción se cuenta con una zona de circulación de 10 m de ancho, la cual rodea las oficinas. Las medidas de longitud del camino son de 37 m de norte a sur (ida y vuelta) y 15 m de este a oeste. Además, se cuenta con un camino que une ambos (de este a oeste), el cual tiene 10 m de ancho y 80 m de largo.

En la Figura 111 se observa la distribución general de la planta, donde se puede apreciar el sector 10 y 13.

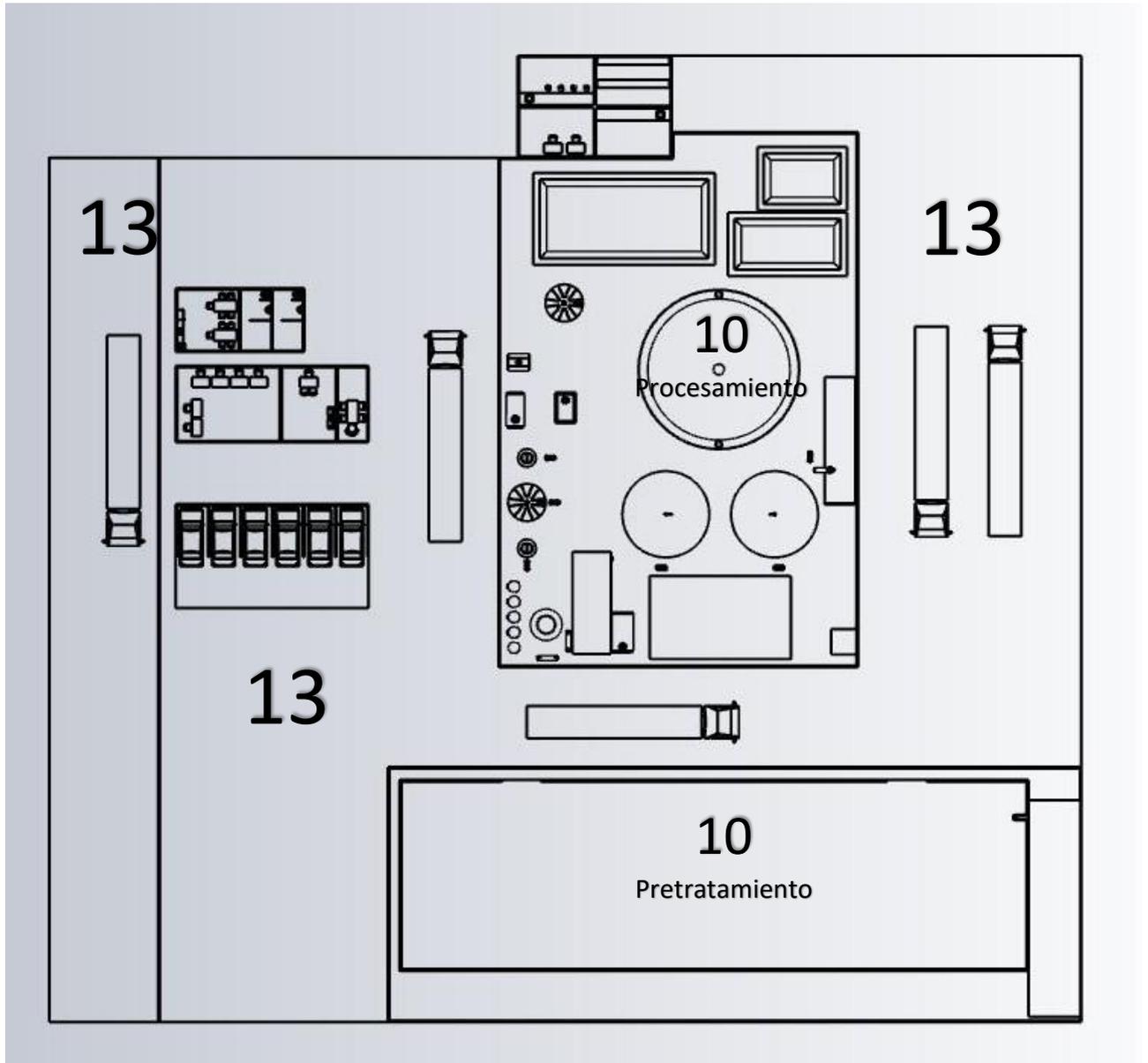


Figura 111. Distribución de sectores de la planta
Fuente: Elaboración propia

13. Seguridad Industrial

13.1. Introducción

La seguridad e higiene industrial es un conjunto de medidas que se aplican con el fin de prevenir riesgos laborales y minimizar sus consecuencias. El objetivo es ofrecer y mantener puestos de trabajos seguros y dignos para que las personas puedan desarrollar sus funciones sin deteriorar su salud ni comprometer su seguridad personal.

Actualmente, las empresas, contratan y forman profesionales en el área de seguridad e higiene industrial lo cual les brinda la posibilidad de organizar y planear diferentes formas de protección para los trabajadores en sus tareas diarias y para la seguridad de la empresa en general.

El aspecto central de la higiene industrial y la seguridad laboral es la protección de la vida y la salud del trabajador, el entorno familiar y el desarrollo de la comunidad. Los procedimientos de higiene y cobertura industrial cubren la identificación, evaluación y control de los agentes nocivos y los factores de riesgo en el lugar de trabajo y, en determinadas circunstancias, la modificación de la integridad física y psicológica del lugar de trabajo de las personas.

En el presente capítulo se detallan las normativas sobre seguridad tanto en la industria como en el personal de trabajo y se adoptan los elementos de seguridad para la protección y la seguridad de las personas internas y externas a la industria.

13.2. Marco legal

La legislación industrial resulta de conocimiento y consulta imprescindibles para el ingeniero que intervenga en proyectos industriales y condiciona de manera decisiva el diseño de una planta de producción.

El objeto común a toda legislación industrial está en la seguridad de personas, bienes y medio ambiente.

El desarrollo del diseño de la Planta de Producción de biometano, se basa en el panorama legislativo vigente en nuestro país, en lo que respecta a seguridad industrial; esto es:

- Ley de seguridad e higiene en el trabajo N° 19.587
- Ley de riesgos de trabajo N° 24.557

Y, en las recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial.

13.3. Política de higiene y seguridad

La empresa debe establecer un lugar de trabajo sano y seguro, trabajo en conjunto de todas las áreas de la planta a fin de favorecer un desarrollo seguro y sostenible, desplegando las prácticas necesarias respecto a la seguridad e higiene industrial.

Se establecen pautas basadas en los siguientes principios con el fin de aplicar una óptima política de higiene y seguridad en la empresa.

- Integrar a todos los niveles de la organización para asegurar un ambiente de trabajo saludable, proyectando la prevención de riesgos en la calidad de servicio.

- Desarrollar una cultura preventiva, con evaluación de riesgos potenciales a fin de preservar la integridad física y el bienestar de las personas cumpliendo con las normas y procedimientos establecidos por el marco legal vigente y las normas de la empresa.
- Trabajar con seguridad es condición de empleo y responsabilidad de todos. La empresa brinda los recursos necesarios para ese logro.
- Capacitar en forma activa y participativa de cada uno de los intervinientes de la organización para que todos comprendamos la necesidad de actuar con responsabilidad y conciencia de la seguridad en las tareas propias y ajenas.
- Estimular la mejora continua en seguridad e higiene buscando estándares internacionales de cumplimiento.
- Contribuir a la preservación del ambiente, prevenir la contaminación de este y cumplir los compromisos que asuma a su contexto.

Es de suma importancia que participen todos los integrantes de la empresa. Para ello, la gerencia se compromete a generar conciencia sobre la importancia de los aspectos anteriormente citados.

13.4. Gestión de higiene y seguridad

La responsabilidad sobre cuestiones relacionadas con higiene y seguridad de la planta recaerá sobre el técnico del Departamento de Higiene y Seguridad tercerizado.

El personal contratado es el encargado de proteger la vida, preservar y mantener la integridad, tanto psicológica como física, de los trabajadores y de las personas que se encuentren vinculadas con el ciclo de vida del producto y también la realización de las prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente.

Para lograr todo esto, los responsables de higiene y seguridad deben involucrarse profundamente con el proceso productivo y el personal de fábrica. El área de Higiene y Seguridad se encarga de la anticipación, identificación, evaluación y control de riesgos que se originen en el ámbito de trabajo; así como también de brindar soluciones y mejoras para disminuir los riesgos de siniestros

13.4.1. Estructura del departamento de higiene y seguridad.

La estructura de la empresa y personal está conformada según lo establecido en el capítulo Organización de la Empresa, donde se detalla el organigrama de toda la planta.

13.4.2. Responsabilidades del técnico de higiene y seguridad

Le corresponde al técnico junto con el directorio de la empresa elaborar e implantar un sistema de reglamentaciones generales y particulares. Estas reglamentaciones conformarán el Manual de Higiene y Seguridad de la empresa, el cual se dividirá por sectores en función de las distintas actividades de la misma.

Este manual está basado en las recomendaciones y exigencias internacionales, adaptadas a las particularidades del país. Por lo tanto, las disposiciones propias de la empresa se encuentran en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional. Es responsabilidad del encargado del departamento de higiene y seguridad garantizar que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones. Cualquier incumplimiento es sancionado y dichas sanciones son previamente establecidas por el departamento de higiene y seguridad junto con la gerencia de la empresa.

13.5. Seguridad en el diseño

Todas las áreas de la ingeniería de diseño deben satisfacer las reglamentaciones específicas de seguridad, así como códigos y recomendaciones.

13.5.1. Proceso

Los diseñadores son responsables de remarcar las áreas de proceso donde los riesgos potenciales exceden a las expectativas normales de riesgo en la planta.

Riesgos potenciales de proceso

- Temperaturas máximas y mínimas.
- Presiones máximas y mínimas.
- Reacciones peligrosas.
- Materias tóxicas y peligrosas.
- Materias corrosivas.

El proceso productivo de Biometano se encuentra detallado en el capítulo 6. En dicho capítulo se detallan las condiciones de proceso, destacándose aquellas que significan mayores riesgos.

13.5.2. Diseño de equipo

Las recomendaciones para el diseño detallado de los equipos deben ser semejantes a las hechas para el diseño del proceso, detalladas anteriormente.

- Temperaturas máximas y mínimas.
- Presiones máximas y mínimas.
- Protecciones frente a partes móviles de equipos.
- Aislamiento acústico
- Aislamiento para protección personal
- Soportes a prueba de fuego

13.5.3. Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales de seguridad, entre ellas:

- Seguridad en espacios interiores.
- Materiales de construcción.
- Seguridad en materiales de construcción.
- Sectorización de la planta.
- Emplazamiento de edificios.
- Diseño frente a terremotos.
- Diseño considerando la carga máxima de viento.
- Cargas de diseño para equipos y tuberías.
- Cargas máximas combinadas.
- Equipo para elevación de piezas.
- Protección contra el fuego de las estructuras.
- Caminos interiores.

En el capítulo Obras civiles se indican los aspectos indicados recientemente. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.

13.5.4. Electricidad

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad. Entre ellos:

- Dimensionado de cables.
- Protección frente a fallos.
- Puesta a tierra.
- Protección de los cables contra el fuego.
- Generación de energía de emergencia.

La instalación eléctrica, equipos y conexiones de la planta de producción de Biometano se encuentran detallada en el capítulo correspondiente a Instalaciones Eléctricas. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta en lo que respecta a la higiene y seguridad de la planta al momento de hacer este tipo de instalaciones.

13.5.5. Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen.

Consideraciones a tener en cuenta:

- Sistemas de agua contra incendios.
- Sistemas de agua de reserva.
- Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.
- Extintores contra incendios.
- Alarmas de incendio.

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en higiene y seguridad) asegurarse de que dicha protección este contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica.

13.6. Seguridad en la construcción de la planta

La etapa de construcción de instalaciones es aquella en que se materializan los proyectos procedentes de la etapa de diseño.

Esta etapa será ejecutada por una empresa, personal ajeno a la propia empresa industrial, contratada a tal fin. Esto proporciona características particulares a la consideración de la seguridad en la construcción de las instalaciones.

La seguridad en la construcción tendrá dos vertientes a considerar por separado:

Seguridad en los propios trabajos de construcción.

La dispersión de mandos y responsabilidades que se deriva de la actuación de la empresa contratista dentro del ámbito de la empresa propietaria obliga a una coordinación adecuada de información, actuación y mando; esto incluye:

- Notificación de los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.

- Emisión y control de permisos para la ejecución de trabajos de cierta peligrosidad.
- Nombramiento de uno o varios supervisores de seguridad con atribuciones para emitir y controlar los permisos, así como para detener los trabajos en caso oportuno y hasta que se adopten las medidas de seguridad pertinentes.
- Aseguramiento eficiente y fehaciente por los contratistas sobre los riesgos de accidente y de daños a terceros.
- Consideración de todos los riesgos derivados de los propios trabajos y del entorno en que se llevan a cabo los mismos.

Seguridad y control de calidad en la construcción.

La calidad de la obra ejecutada y la fidelidad a un diseño correcto influyen de manera importante en la seguridad de la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones. Ello hace que un control cuidadoso de dicha calidad sea un complemento imprescindible a un proyecto bien hecho.

13.7. Seguridad en la puesta en marcha

El proceso de puesta en marcha de la planta es peligroso debido a que se trata de una planta recién construida. En este punto todo el equipo es nuevo. Puede ser que durante el diseño no se hayan descubierto errores o materiales inadecuados. Además, los operarios no estarán aún familiarizados con la distribución en planta y la operación de la misma.

Por estas razones es que las pruebas y la puesta en marcha definitiva serán llevadas adelante en pasos lentos. Cada parte del sistema será probado independientemente. Después de que todos los sistemas han sido comprobados detalladamente utilizando fluidos no peligrosos y la planta esté en una situación no peligrosa, entonces, y sólo entonces, se introducirán los materiales peligrosos lentamente y de forma secuencial en la planta.

Antes de llevar a cabo esta etapa, para asegurar que se han tomado todas las precauciones debidas durante el diseño y la construcción, el especialista en higiene y seguridad realizará un *check list* (chequeo general) de todos los sectores de la planta.

13.8. Seguridad en la operación

La seguridad en la operación constituye una continuidad de la seguridad en el diseño; ya que la probabilidad de que un incidente peligroso ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos tales como son las actitudes de los mandos y de los operarios, de los errores humanos, de un mantenimiento inadecuado, del conocimiento y comprensión escasos por los operarios.

13.9. Seguridad en el mantenimiento

Todo lo que se ha definido hasta el momento, llevado a cabo con eficiencia del 100%, llevaría a una cobertura preventiva importante si las instalaciones mantuvieran indefinidamente el estado en que iniciaron su actividad.

Debido a las agresiones (desgastes, corrosiones, envejecimientos) que sufren diferentes partes de la instalación por su uso y por la acción de factores internos y externos, se pueden producir averías que originan condiciones inseguras. Por ello es evidente que el mantenimiento eficaz contribuye a la seguridad de instalaciones y operaciones de manera importante.

En nuestra planta, se implementarán dos tipos de mantenimiento, los cuales son complementarios entre sí; estos son:

Mantenimiento correctivo. Intervención correctora de las averías con rapidez, eficiencia y precauciones (seguridad en la propia acción correctora). Para este tipo de mantenimiento es que se dispondrá de una cantidad determinada estadísticamente de repuestos en existencia.

Mantenimiento preventivo. Se efectuarán inspecciones periódicas de todos los elementos de las instalaciones, con frecuencias mínimas o ajustadas a los análisis estadísticos de averías, con el fin de que la reparación o sustitución de aquéllos se efectúe antes de que la avería se declare. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento de la planta estará a cargo de personal especializado en el tema según lo establecido en el capítulo de Organización de la empresa.

13.10. Seguridad en prevención, defensa y actuación

Debido a causas imprevisibles o de fuerza mayor, y a no efectuarse la prevención con una eficiencia de 100%, debe aceptarse que el riesgo pueda manifestarse en forma de incidentes, accidentes o siniestros.

Si bien hasta aquí se han considerado, en cada sector de la planta en particular, una amplia cantidad de medidas necesarias para evitar diversos tipos de riesgos; cumpliendo con todas las condiciones impuestas por la ley vigente. Lo realizado no quedaría completo sin el agregado de lo que a continuación se desarrolla; esto es *prevención, defensa y actuación frente a siniestros*, en particular frente al fuego, lo que es de destacar debido a las características del proceso productivo (equipos y sustancias).

13.10.1. Orden y limpieza

El mantenimiento técnico de las instalaciones se debe complementar con la limpieza general de la planta, la que estará a cargo de personal de limpieza.

Además de los trabajos de limpieza general, se instruirá a cada empleado sobre la responsabilidad que cabe a cada uno sobre el mantenimiento del orden y la limpieza en su puesto de trabajo; esta capacitación estará comprendida dentro de la capacitación de personal sobre seguridad e higiene que se detalla luego.

13.10.2. Señalización

La señalización adecuada en los diversos ambientes de trabajo es fundamental tanto para mejorar las condiciones laborales, así como para actuar en forma rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo.

El realizar una campaña de señalización en la empresa, no elimina riesgos, sino que es un complemento que tiende a evitar o reducir la cantidad de accidentes.

Al respecto, la legislación establece las señales que deben estar presentes en la industria.

Las señales, pueden ser ópticas, acústicas, olfativas o táctiles. Las ópticas son aquellas que resultan de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de que las distintas personas puedan identificarlas, y son estas las principales señales que se utilizarán en la planta.

Los cuadros siguientes muestran las señales que se pueden llegar a visualizar en la planta industrial y lo que representa cada una de estas señales.

Señales de información	
Proporciona información necesaria para realizar una tarea determinada y para informar los peligros que pueden existir en un determinado lugar de trabajo.	
Señal y su respectivo significado	
	
Botiquín: esta señal informa donde está situado el botiquín por si se sufre algún tipo de lesión, que debe estar completo para poder curar lesiones de poca gravedad.	
	
Flecha abajo: esta señal indica las posibles salidas de socorro; pueden estar situadas en cualquier lugar de la fábrica y en cualquier dirección.	
	
Salida: Esta señal indica cual es la salida de emergencia o socorro.	
Señales de advertencia	
Indican algún peligro que se puede tener o algo que puede ocurrir si no se va con precaución; advierten de algún peligro.	
Señal y su respectivo significado	
	
Alta tensión: esta señal indica que existe riesgo de que pase por el cuerpo una tensión muy elevada y genere como consecuencia la muerte.	
	
Atención: esta señal indica manejarse con precaución porque existe algún tipo de riesgo; sin embargo no especifica el riesgo a que se está expuesto.	

	 <p>Vehículo industrial: esta señal indica la presencia de algún vehículo industrial en el lugar en que se está.</p>
	 <p>Riesgo tóxico: esta señal indica la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente laboral</p>
	 <p>Riesgo cáustico: esta señal indica la presencia de sustancias corrosivas en el ambiente laboral.</p>
	 <p>Riesgo de incendio: esta señal indica que puede provocarse un incendio muy fácilmente.</p>
	 <p>Riesgo de explosión: esta señal indica que puede provocarse una explosión muy fácilmente.</p>
	 <p>Riesgo eléctrico: esta señal indica que en lugar hay corriente eléctrica, y por lo tanto, peligro de descarga.</p>

Señales de obligación	
Proporciona información acerca de lo que se debe cumplir en forma obligatoria en el lugar de trabajo o en un lugar específico.	
Señal y su respectivo significado	
 USO OBLIGATORIO DE CALZADO DE SEGURIDAD	Uso de calzado de seguridad: esta señal informa que es obligatorio llevar el calzado apropiado para el lugar.
 ES OBLIGATORIO USAR CASCO	Uso de casco: esta señal informa que es obligatorio llevar casco.
 ES OBLIGATORIO USAR GUANTES	Uso de guantes: esta señal informa que es obligatorio el uso de guantes.
 PROTECCION INDIVIDUAL OBLIGATORIA CONTRA CAIDAS	Uso de protección contra caídas: esta señal informa que es obligatorio llevar algo que haga de protección contra caídas de gran altura.
 PROTECCION OBLIGATORIA DEL CUERPO	Uso de protección del cuerpo: esta señal informa que es obligatorio el uso de un mono para trabajar.
 PROTECCION OBLIGATORIA DEL OIDO	

<p>Uso de protección de oídos: esta señal informa que es obligatorio el uso de alguna protección auditiva.</p>	
<p>Uso de protección de la vista: esta señal informa que es obligatorio el uso gafas para protección de los ojos.</p>	
<p>Uso de protección facial: esta señal informa que es obligatorio el uso máscara para la cara.</p>	
<p>Vía obligatoria para peatones: esta señal indica que el lugar en el que se está o se va a transitar es exclusivo para peatones y que ningún tipo de transporte puede circular por el mismo.</p>	

<p>Señales de lucha contra incendios</p>	
<p>Proporciona información sobre elementos de lucha contra incendios.</p>	
<p>Señal y su respectivo significado</p>	
<p>Boca de incendio: esta señal indica donde está situada la boca de incendio más próxima.</p>	
<p>Extintor: esta señal indica donde está ubicado el extintor más próximo; la flecha indica que el extintor se encuentra debajo de ella.</p>	

Deberán también demarcarse las zonas de proceso con franjas de color amarillo que indiquen dirección y sentido de circulación en pasillos y caminos. Así también, las zonas de circulación de operarios,

transportadores y equipos de emergencia. Es menester destacar en todos los casos los cruces, desviaciones u obstáculos donde puedan encontrarse elementos de transporte, contarán con indicación del peligro mediante franjas anchas de color amarillo.

El pintado de cañerías cumplirá con los requisitos establecidos en la Norma IRAM 2507.

Pintado de Cañerías (Norma IRAM 2507)		
COLOR	IRAM	SIGNIFICADO
Naranja Internacional	02-1-040	Vapor de agua
Verde Claro	01-1-120	Agua fría
Amarillo	05-1-020	Combustibles líquidos y gases
Bermellón	03-1-080	Elementos de protección o incendios
Gris Industrial	09-1-060	Productos inofensivos
Castaño	07-1-120	Vacío
Azul Industrial	08-1-070	Aire comprimido
Negro	11-1-060	Electricidad
Verde Claro con franjas Naranja Internacional		Agua caliente
Gris Industrial con franjas Naranja Internacional		Productos peligrosos

Otro tipo de señalización implementada para la seguridad de los empleados, en este caso de carácter temporal, serán las *Tarjetas de Seguridad*. Dichas tarjetas son cartones troquelados divididos en tres partes: una que se pone en un lugar visible del equipo que se está reparando, otra que la retiene el solicitante y la tercera que se coloca en el tablero principal. Con esta última se obtiene la habilitación de la máquina intervenida, por lo que esta tarjeta es la indicadora del peligro, ya que la presencia de la tarjeta ubicada en cualquier circuito o mecanismo (válvulas, interruptores, botoneras, etc.) indica que el equipo no debe ser operado bajo ningún concepto.

Si un mismo equipo o máquina está siendo atendida por varios sectores de la planta, cada uno de ellos colocará su propia *Tarjeta de Seguridad*.

Las tarjetas estarán a disposición de los solicitantes en las oficinas de mantenimiento y en la oficina de higiene y seguridad, esta última también será la responsable de generar nuevas tarjetas.

A continuación, se muestran modelos típicos de tarjetas de seguridad.



Figura 112 Modelos típicos de tarjetas de seguridad

13.10.3. Protección colectiva.

La protección colectiva la constituyen todas las medidas de protección pasiva consideradas en las diversas áreas; aquí a modo de resumen, se detallarán los equipos y agentes extintores existentes en la planta.

El tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda llegar a generar de acuerdo a las sustancias manipuladas.





En la figura a continuación se muestra la forma correcta de instalar un matafuego. Se deben colocar en lugares visibles, con fácil acceso, de forma que se puedan tomar rápidamente en caso de incendio. Se debe evitar lugares oscuros de dificultosa visualización.

Por general los matafuegos son instalados sobre una pared o columna a través de un soporte fijado a la misma sobre el cual se cuelga el equipo. Detrás del matafuego se deberá emplazar la correspondiente chapa baliza, que sirve para indicar la ubicación del mismo y las clases de fuego para los cuales son apto.

El equipo debe estar instalado de tal forma que la placa de accionamiento de la válvula quede a 1,70 metros del piso; en el mismo deberá pintarse una bandada de color rojo de 5 cm de ancho, dejando 20 cm a cada lado del matafuego y extendiéndola hasta 50 cm de pared. Además, se colocarán carteles indicadores por sobre la chapa baliza a una altura tal que sea advertido a la distancia y por sobre los objetos circundantes que pueden obstaculizar la visual del equipo.

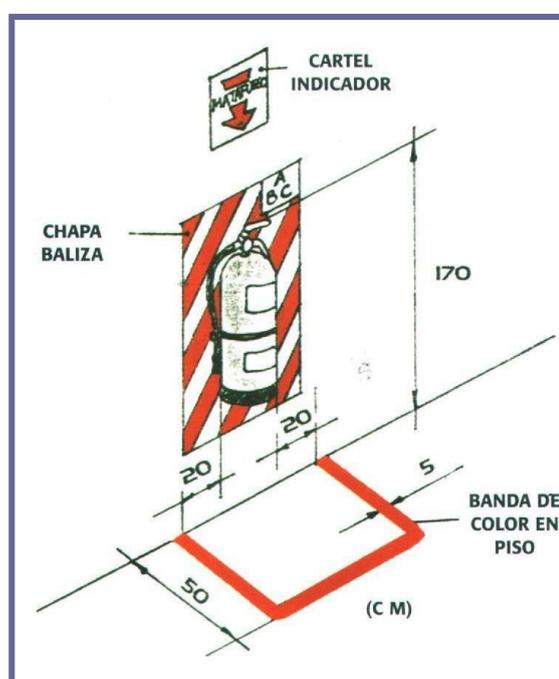


Figura 113 Forma correcta de instalar un extintor

13.10.4. Protección individual.

La seguridad e higiene en un establecimiento, previo a utilizar los elementos de protección personal, consta de los siguientes pasos a la hora de resolver un riesgo identificado:

- Eliminar la fuente que genera el problema de seguridad.
- Sustituir el problema en caso de que no se pueda eliminar.
- Aislar el problema en caso de no poderse sustituir.

No solo es suficiente la protección colectiva, además cada trabajador debe constar de una protección personal que sea inherente a la tarea específica que realiza.

Los elementos que son utilizados o sujetados por el trabajador en la industria, para protegerlo de uno o varios riesgos y aumentar su seguridad o el cuidado de la salud en el trabajo, se denominan Elementos de Protección Personal y son indispensables para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados.

Los mismos deben ser provistos por el empleador y en algunas categorías tienen que estar certificados por uno de los dos únicos entes certificadores reconocidos por la Secretaría de Comercio en la Argentina: IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), International Quality Certifications y UL (Underwriters Laboratories) (Resolución SRT N° 299, 2011).

Los elementos de protección personal deben proporcionar la máxima comodidad y alta eficiencia para que el usuario no sufra un accidente. Los equipos no deben restringir los movimientos del empleado, sino contribuir a la seguridad del individuo durante su trabajo.

Por lo tanto, deben ser fabricados de acuerdo con las normas de construcción nacionales e internacionales, que verifican todos los procesos de fabricación y determinan si están contruidos con los materiales correctos. Su uso correcto y permanente durante el trabajo en plantas industriales es fundamental.

La Resolución SRT N° 299/2011 crea el formulario de registro de entrega de elementos de protección personal y ropa de trabajo que debe ser completado por el responsable de higiene y seguridad o por la ART según corresponda, y suscripto por el trabajador.

En la Figura 114 se representa un ejemplo de la indumentaria y los elementos que debe poseer el personal en una fábrica.



Figura 114 - Elementos de protección personal. Fuente: Bioseif

Aunque no hay que descartar que los individuos ajenos a la empresa también deban llevar sus elementos de protección para evitar accidentes. Dichos elementos se describen a continuación.

En industrias químicas es recomendable usar, casco, ropa de algodón, protección auditiva, y alguna mascarilla de respiración o comúnmente llamada equipo de escape.

Es importante recordar que los elementos de protección personal no eliminan los riesgos, solo los minimizan, teniendo cada elemento limitaciones de uso. Y que dichos elementos, no son intercambiables con los demás trabajadores de la planta. Además, se debe limpiar y desinfectar el equipo, inspeccionarlo periódicamente, y almacenarlo en forma adecuada.

La función básica de un equipo de protección personal es la de establecer una barrera entre el usuario del equipo y el producto agresivo. La elección de la protección estará determinada por la peligrosidad del agente, el tiempo de exposición, el nivel de contacto.

En las siguientes secciones se muestran, según la zona del cuerpo a proteger, el equipo de protección que será utilizado por el trabajador. La norma IRAM que establece las características de cada elemento de protección personal dependerá no solo del elemento de protección específico, sino también de las características apropiadas que se requieran para cada trabajador en particular.

Protección corporal

La ropa de trabajo utilizada tendrá las siguientes características:

Ser de tela flexible, permitiendo una fácil y rápida limpieza, así como la desinfección de la misma en forma adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.

Debe ajustarse bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.

Se eliminan o reducen en lo posible elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones partes vueltas hacia arriba y cordones; por razones higiénicas y para evitar enganches.

Se prohíbe el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional, como ser: corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos.

En ocasiones especiales la ropa de trabajo será de tela impermeable, incombustible, de abrigo resistente a sustancias agresivas; y siempre que sea necesario, se dotará al trabajador de delantales, mandiles, petos, chalecos, fajas, cinturones anchos y otros elementos que puedan ser necesarios.

Protección craneana

Su uso es personal y obligatorio, se cambiará al sufrir algún impacto violento, Figura 115.



Figura 115. Protección craneana

Con el casco de seguridad el trabajador se protege de:

- Caídas de objetos.
- Golpes en la cabeza.
- Proyección violenta de objetos.
- Contactos eléctricos.

Protección ocular y/o facial

Cuando haya riesgo para los ojos, por proyecciones o salpicaduras, es obligatorio el uso de gafas o pantallas de seguridad adecuadas, Figura 116.



Figura 116. Protección ocular

Su uso se requiere si está expuesto a:

- Proyección de partículas sólidas y/o líquidos.
- Exposición a radiaciones nocivas (soldadura oxiacetilénica o eléctrica, etc.)
- Exposición a atmósferas contaminadas.

Tipos de protectores:

- Anteojos de seguridad.
- Antiparras.
- Protectores faciales.
- Protectores oculares y/o faciales para trabajos de soldadura y corte.

Protección respiratoria

Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire supere los valores estipulados en la legislación vigente. Su elección dependerá del tipo de contaminante, el tiempo de exposición y las características del trabajo a realizar, Figura 117.



Figura 117. Protección respiratoria

En todos los casos asegúrese que, la máscara se adapte bien a su rostro (no use barba); los elementos o cartuchos filtrantes se encuentren en buen estado y hayan sido inspeccionados regularmente.

Se puede hacer una clasificación de la siguiente manera:

- I. Dependientes del medio ambiente.
 - Barbijos.
 - Respiradores.
 - Mascaras facial.
- II. Independientes del medio ambiente.
 - Equipo autónomo portátil (utilizan filtros) de circuito cerrado o de circuito abierto.
 - Equipo de succión (suministra aire) pulmonar o forzado.
 - Equipo de aire comprimido provenientes de cilindro o provenientes de compresor.

Protección de pies

Los zapatos de seguridad son de uso obligatorio, Figura 118.



Figura 118 Protección de pies

Ellos protegen de:

- Caída de elementos pesados y objetos punzantes.
- Pinchaduras.
- Cables o conexiones eléctricas expuestas.
- Manipulación de productos químicos o hidrocarburos

Tipos:

- Zapatos.
- Botines.
- Botas de seguridad (con puntera y/o suela de acero).

Para el caso de los electricistas, sólo en el caso de trabajar bajo tensión, zapatos dieléctricos (sin puntera y/o suela de acero ni hojalillos de acero).

Protección de manos y brazos

Se deben utilizar guantes de seguridad de acuerdo al tipo de tarea que se vaya a emprender, Figura 119.



Figura 119 protección de manos

Como cuando se esté expuesto a peligros de:

- Contacto con sustancias peligrosas.
- Cortes y raspaduras severas.
- Quemaduras químicas o térmicas.
- Trabajar con circuitos eléctricos o cerca de ellos (en éste caso los guantes deben ser dieléctricos).

Además, tener en cuenta que:

- Se debe mantener las manos alejadas de cualquier carga en movimiento.
- Nunca atar el cable guía de una carga al cuerpo o las manos.
- Si está trabajando con máquinas-herramientas no utilice anillos ni pulseras.
- Para clavar un elemento a golpes de maza, sostener a éste con alguna pinza o soporte para no golpearse las manos.

Protección auditiva

Si se llevan a cabo operaciones que generan un nivel de ruido elevado es necesario hacer uso de protecciones auditivas. Usarlas correctamente rebaja el nivel de ruido que llega al oído y por consiguiente el nivel del riesgo de lesión. Para que resulten eficaces, los protectores auditivos deben ser llevados durante todo el tiempo que dure la exposición, Figura 120.



Figura 120 Protectores auditivos

Tipos más comunes de protección auditiva:

- Insertores: se insertan dentro del conducto auditivo externo. Su nivel de atenuación oscila en el rango de los 25 db.
- Cobertores o de Copa: cubren todo el pabellón de oído y la zona ósea. El nivel de atenuación es de hasta 45 db.
- Desechables: son aquellos que duran solo una jornada de trabajo y luego de usarlo se tiran. Se fabrican de lana, algodón, cera, etc.

Protección en altura

Se utiliza cinturón o arnés de seguridad cuando se trabaje en techos, azoteas y en todo lugar que no cuenten con barandas perimetrales, se realice tareas en andamios, durante el montaje y desmontaje de éstos, se trabaje en armaduras de acero en altura, o en silletas y se efectúe todo tipo de tareas por encima de 1,8 m sin baranda de protección, Figura 121.



Figura 121 protección en altura

También cuando el Servicio de Higiene y Seguridad, el empleador o la ART lo consideren necesario. El sistema anti caídas debe ser amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. Sin este requisito no se deberá iniciar el trabajo.

Selección y capacitación

Con el propósito de complementar las medidas técnicas implementadas en la empresa y con el fin de que las normas de uso interno sean aplicadas en forma correcta, es que la empresa seleccionará los

empleados de acuerdo a sus aptitudes físicas y psíquicas y desarrollará programas de capacitación para adiestrar a todo el personal sobre lo concerniente a higiene y seguridad en los puestos de trabajo y en la planta en general.

Por lo tanto, la selección e ingreso de personal la efectuarán en forma conjunta y coordinada el departamento de higiene y seguridad, los servicios de medicina y otras dependencias relacionadas. Esto se hará teniendo en relación con los riesgos de las respectivas tareas, operaciones y manualidades profesionales.

Al respecto, es de incumbencia del servicio de medicina, lo detallado en el siguiente punto determinando de tal modo la aptitud de un empleado en relación a la tarea a desempeñar.

En cuanto a la capacitación del personal, se lo adiestrará como se dijo anteriormente, basándose en material educativo gráfico, medios audiovisuales, avisos y carteles. Dicho adiestramiento se concretará en:

Cursillos teóricos:

- Operaciones.
- Seguridad general.
- Defensa contra incendios (prevención y extinción).
- Primeros auxilios.
- Planes de emergencia.
- Mantenimiento.

Entrenamiento práctico:

- Ejercicios de extinción contra el fuego.
- Simulacros de emergencia.
- Simulacros de primeros auxilios.

Las jornadas de capacitación se realizarán en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

La empresa hará acuerdos con la compañía de seguros, para que sea esta quien través de medios y personas puestos a tal disposición, sea la encargada de impartir los cursillos y el entrenamiento relativos a la seguridad.

Servicio de medicina laboral.

La Ley Nº 19.587 impone a los empleadores y a los trabajadores en general, la obligación de cumplir con la normativa vigente sobre higiene y seguridad en el trabajo. En lo que respecta a servicio de medicina, se respetará lo establecido en los artículos correspondientes, a saber:

- Servicio de medicina.
- Exámenes médicos.
- Responsabilidad de asesoramiento (higiene y seguridad en los ambientes laborales).

El servicio será desarrollado por profesionales médicos contratados por la empresa o en centros habilitados por la autoridad sanitaria. Dichos profesionales deberán cumplir con los requisitos de la especialidad laboral, además deberán justificar su condición con el registro que los habilita.

La empresa constará de una sala con un botiquín de primeros auxilios y se capacitará a los trabajadores sobre el manejo del mismo y cómo reaccionar ante los posibles accidentes relacionados con las sustancias que se manejan en la industria, además se dispondrá de un botiquín en cada sector de la planta. Para accidentes de mayor envergadura la empresa recurrirá al servicio de una prestación médica externa.

13.10.5. Parada de planta

Frente a una emergencia puede llegar a ser necesario la parada de planta. Para llevar a cabo este propósito es que todos los equipos de la planta tendrán dispositivos automáticos que aseguren la interrupción del suministro de fluido cuando se produzca alguna anomalía, la planta completa cesa su actividad en caso de que se inicie un incendio.

13.10.6. Procedimiento de extinción

Al descubrirse un incendio se procederá del siguiente modo y en el orden que se establece:

- I. Ubicar el foco del incendio.
- II. Alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar del incendio.
- III. Determinar qué material se quema para proceder a apagar el fuego con los elementos apropiados.
- IV. Establecer la proporción del incendio para disponer la cantidad de elementos necesarios.
- V. Pedir colaboración si ello fuera necesario.

Al atacar el fuego se debe:

- I. Cortar la corriente eléctrica en el sector.
- II. Cortar toda corriente de aire en caso de ser posible.
- III. Atacar el fuego lo más cerca posible, con viento a favor de modo de aprovechar al máximo la capacidad del elemento extintor.
- IV. Desde la menor distancia posible, dirigir el chorro sobre la base del fuego y no al centro, barriendo en zig-zag y en lo posible alrededor del incendio para atacarlo por todos los costados.
- V. Circunscribir el fuego para evitar su propagación.
- VI. Utilizar el material indispensable con el máximo rendimiento, teniendo en cuenta que cada extintor o boca de incendio abastece a una zona que no debe quedar desprotegida en ningún momento, salvo que sea por una razón bien justificada.
- VII. Actuar siempre con celeridad y serenidad.

El personal de la empresa estará debidamente capacitado para reaccionar ante casos de incendio. Estarán divididos en brigadas y trabajarán como equipo en el momento oportuno. Las personas mejores capacitadas serán las que deban actuar en el momento del incendio. Las demás estarán en condiciones de aprender las maniobras cuando las cargas de los matafuegos estén a punto de vencer, momento en que aprovechará para realizar simulacros.

13.10.7. Plan de emergencia y evacuación.

Existirá en la planta un plan de emergencia de conocimiento general por la totalidad del personal. Dicho plan será llevado a cabo en caso de ocurrencia de una emergencia.

En caso de una eventualidad tal, se deberá llamar desde cualquier teléfono de planta habilitado para tal fin, citando la emergencia observada, lugar y nombre de quien habla. Los teléfonos estarán conectados con el departamento de higiene y seguridad, cuyos miembros deberán brindar rápidamente la asistencia necesaria; además desde estos teléfonos se pueden realizar llamadas de emergencia al exterior.

Ante tales circunstancias las personas deberán resguardarse en lugares seguros y a la espera de instrucciones. En ningún caso deberán acercarse al lugar del siniestro. Cuando las personas presentes en el predio escuchen *tres toques prolongados de sirena*, que indican evacuación total, deberán dirigirse a la salida de emergencia más alejada del sector del siniestro.

Para llevar a cabo la evacuación se dispondrá de un *plan de evacuación*, también de conocimiento general. Este plan incluirá lo siguiente:

- I. Reconocimiento del sonido de la alarma.
- II. Plano indicativo de salidas de principales y secundarias.
- III. Designio de las personas encargadas de dar aviso a los bomberos.
- IV. Abandono total de las actividades y salida del recinto en forma segura, rápida y en silencio.
- V. Punto establecido de reunión fuera del edificio.
- VI. Método para verificar si quedan personas en el interior del edificio.

Se dispondrá de un plan alternativo, para el caso en que no se pudiera cumplir con el plan original. Tanto para el cumplimiento del plan original como del alternativo, se llevarán a cabo simulacros de evacuación (incluidos en la capacitación de personal), de forma tal de asegurarse que el personal sepa cómo lograr una buena evacuación, ordenada y eficaz, cuando las circunstancias así lo requieran.

13.10.8. Sistema de alarma.

La planta estará equipada con un sistema de alarma contra incendio compuesto de los elementos que se muestran a continuación.

Sistema de alarma
 <p>Alarma contra incendios: conectada a un grupo electrógeno de modo que quede asegurado su funcionamiento.</p>
 <p>Sistema de aspersión automática de agua.</p>
 <p>Detectores de humo: ubicados en los recintos cerrados de la planta; activan la alarma contra incendios.</p>

13.11. Seguridad medioambiental

Todas las actividades que desarrolla el ser humano generan un impacto sobre el ambiente externo a la planta, este efecto debe ser minimizado para cumplir con la legislación en vigencia, para evitar pérdidas económicas, para evitar perjuicios a la comunidad, y, por supuesto, para preservar el medio ambiente.

Estos objetivos formarán parte de cada toma de decisión de carácter preventivo, comprometiendo los esfuerzos de la empresa hacia una rápida solución ante cualquier desviación que se produzca.

En lo que se refiere a desagües industriales, se cumplirá lo establecido en la legislación vigente.

13.11.1. Política medioambiental.

Los impactos ambientales significativos que puedan ocasionar las tareas desarrolladas por la empresa y su personal, irán acompañados de las respectivas medidas encargadas de remediar dichos impactos. Con respecto a la generación, manipulación y almacenamiento de residuos, se considera que es responsabilidad de todo el personal de la empresa de la limpieza y traslado de los mismos hasta el sector asignado.

13.11.2. Residuos sólidos.

Con respecto a los residuos sólidos, el objetivo de la empresa es minimizar la generación de residuos en origen, en cantidad y tipología, mediante un sistema participativo, buscando la mejor relación costo-beneficio-medio ambiente.

Los residuos sólidos se clasifican en:

Recuperables: se consideran a los cartones limpios, papeles limpios, papel de oficina, bidones de todo tipo limpios, metales varios, plásticos, latas, vidrios, etc. Todos ellos son trasladados hacia la planta de reciclaje.

Residuos asimilables a urbanos: se pueden encontrar restos de comida con o sin envoltorio, cartones sucios, cintas de embalaje, sobres de azúcar, etc. Los residuos asimilables a urbanos generados por la actividad diaria serán depositados en contenedores diferentes con el fin de separarlos en reciclables y orgánicos, ambos serán dirigidos hacia la planta de tratamiento.

Residuos especiales o peligrosos: diluyentes sucios, aceites usados, aceites lubricantes, productos químicos, gasoil, restos de pintura, grasas industriales, pilas, pinceles, guantes y demás herramientas con grasas o pinturas, drogas de laboratorio, etc. Los residuos especiales o peligrosos deben ser llevados a un sector alejado e identificados con un cartel que indique residuos especiales.

13.11.3. Efluentes líquidos.

Además de los efluentes líquidos generados por el proceso de producción, los cuales son considerados en el capítulo correspondiente a Tratamiento de Efluentes, en la planta son generados diversos efluentes líquidos a considerar, los cuales se clasifican en:

Efluentes domésticos y cloacales: son generados por las instalaciones utilizadas por el personal de la planta, esto es: instalaciones sanitarias (duchas, mingitorios, inodoros, piletas), instalaciones de uso doméstico (lavavajillas, bebederos) e instalaciones de emergencia (duchas de emergencia, lavajos, piletas de emergencia). Los efluentes líquidos domésticos y cloacales serán enviados a un digestor para su tratamiento.

Efluentes pluviales: se generan por la precipitación de agua de lluvia que escurre por techos y pisos de patios. Dadas sus características no es necesario su tratamiento, por lo que será conducida por canales de techo y conductos de bajada hasta terreno absorbente.

14. Organización Industrial

14.1. Introducción

Como meta para un estudio organizacional de un proyecto, es de primordial importancia realizar una estimación lo más realista posible sobre los costos ocasionados en lo que respecta a implementación y administración de las operaciones que se realicen.

Una empresa se define como el conjunto de personas y bienes que actúan de forma organizadas persiguiendo un objetivo en común. Es la encargada de llevar a cabo decisiones sobre la utilización de los factores que se disponen, para obtener los bienes y servicios que se comercializan en el mercado. La actividad productiva de la empresa consta de la transformación de materia prima en productos, esto será posible gracias al empleo de trabajo y del capital que se disponga. Para conseguir este objetivo es necesaria una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deben realizarse.

14.2. Municipalidad de Justiniano Posse

La empresa depende de la Municipalidad de Justiniano Posse, precisamente el área encargada del desarrollo y ejecución de la planta es la Secretaría de Obras y Servicios Públicos. En el siguiente esquema se representa el organigrama de la Municipalidad de Justiniano Posse.



Figura 122. Organigrama Municipalidad de Justiniano Posse.
Fuente: (justinianoposse, 2021)

14.3. Organización de la empresa

En lo que contempla a la estructura de la empresa, se lleva a cabo una clasificación por niveles jerárquicos, los cuales determinan las responsabilidades que posee cada uno de los empleados. Como resultado de este sistema de relaciones se tiene como objetivos:

- Que cada empleado tenga los conocimientos técnicos adecuados para realizar sus funciones y cumplir con sus obligaciones.

- Tener información de todas y cada una de las actividades que se desarrollan en el trabajo, con el fundamento de dar al trabajador un panorama más claro y de conjunto que haga que la comprensión del objetivo final de la empresa sea eficiente.
- Establecer reglas y política de trabajo.
- Definir una cultura empresarial.

14.3.1. Organización interna

Para la organización interna de nuestra empresa se trabaja con la creación de diferentes departamentos, que ponen de manifiesto las actividades que se realizan en los mismos, como así también a quienes son los encargados de llevarlas a cabo. Cada departamento posee un jefe de área, el cual responde directamente al gerente general de la empresa. En la Figura 123 se presenta el organigrama de la empresa.

14.3.2. Descripción de los puestos de trabajo

La empresa productora de Biometano, posee ciertas jerarquías en los diferentes grupos de empleados que contiene, siendo una única persona la encargada de dirigir la industria para llevarla a altos niveles productivos y poder mantenerse en competencia durante un cierto periodo.

La cabeza principal de la organización es el gerente general, el cual tiene apoyo en las diferentes áreas de la empresa, a través de la jefatura de cada una de ellas. Este círculo de personas son las encargadas de definir el rumbo de la producción en el establecimiento, aportando cada uno de ellos su interés y conocimiento.

El número total de los departamentos que se encuentran a cargo de la gerencia, son seis, en donde se pueden observar en la Figura 123 a cada uno de ellos, los cuales se conforman con una cierta cantidad de empleados que se detallaran a continuación junto con sus responsabilidades.

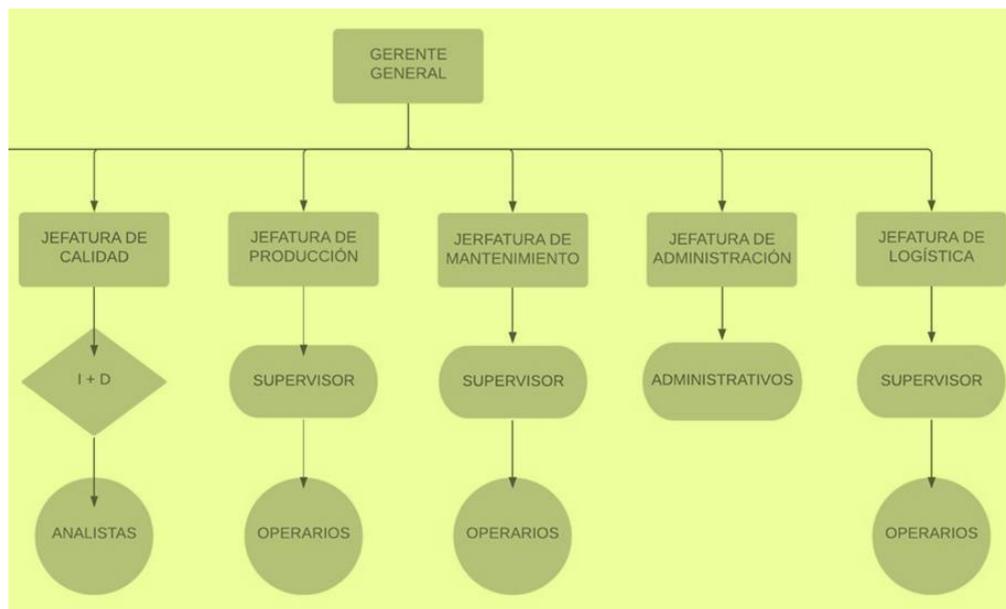


Figura 123: Organigrama de la empresa
Fuente: Elaboración propia

Gerente general

Es la máxima autoridad de la planta, por lo que desarrolla, define y hace cumplir los objetivos organizacionales y además planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo. Otras funciones que lleva a cabo el gerente son:

- Dirige y controla las funciones administrativas de la empresa.
- Se encarga de la supervisión y el correcto cumplimiento de las funciones realizadas por el personal, analizando la eficiencia en el desempeño del trabajo.
- Asegura el correcto cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas e instructivos internos, como así también los que son establecidos por las entidades de control y regulación.
- Ejerce su control preponderante sobre los demás departamentos y obtiene información de los mismos, para llevar a cabo la toma de decisiones.
- Ejerce su representación legal y participa en todas las reuniones con Asociaciones, Cámaras, Ministerio y demás instituciones públicas y privadas.
- Controla y supervisa los reportes financieros, comparando los resultados reales con los presupuestados.
- Controla los costos y rentabilidad de la empresa.
- Controla los índices y costos de producción, planes y programas de producción.
- Controla la administración de los recursos monetarios y el cumplimiento de regulaciones en materia tributaria, arancelaria y demás obligaciones legales.

Departamento de higiene y seguridad

Este sector no existe físicamente dentro de la empresa, ya que se tercerizan los servicios de higiene y seguridad. El equipo consta de los siguientes cargos:

Jefe de Higiene y Seguridad: El mismo está encargado de regular, aplicar, y hacer cumplir todos los reglamentos dirigidos a las normativas de seguridad e higiene en la fábrica. Es un profesional cuya función principal es controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional. Otras funciones son:

- Elaborar el programa de seguridad en todas sus fases: planeación, ejecución y control.
- Integrar el programa de aseguramiento las siguientes áreas: prevención de accidentes, prevención de siniestros, control de pérdidas e higiene industrial.
- Identificar agentes potenciales de peligro en las distintas áreas de trabajo (agentes físicos, agentes químicos, agentes biológicos y agentes ergonómicos) así como las vías de entrada.
- Diseñar y recomendar estrategias de control y evaluar su eficacia.
- Conocer el marco jurídico para la práctica de la Higiene Industrial: Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19587, Ley N° 24557 de Riesgos del Trabajo.

Técnicos de higiene y seguridad: La tarea fundamental de los mismos es hacer todo un sistema de control de riesgos del trabajo tanto en la prevención de accidentes como de enfermedades laborales. Para ello se rigen por reglamentaciones, la estandarización, la inspección, las investigaciones, la educación, entre otras, siguiendo las tareas ordenadas por el jefe del sector. Además de controlar la correcta ejecución de las actividades de riesgo dentro de la empresa, dando su punto de vista para el inicio de la tarea y al finalizar la misma.

Departamento de calidad

Este departamento se encarga de establecer límites de variación en los atributos y variables del producto, e informar su estado dentro de esos límites. Comprende las funciones de desarrollo de métodos de control, control de medidas, inspección y ensayos, reclamos de clientes y recuperación de materiales rechazados o fuera de uso.

Jefe de calidad: su tarea principal consiste en definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en el producto en proceso, la materia prima y el producto final. También se encarga de organizar las tareas del laboratorio, informar a la gerencia general, departamento comercial y departamento de producción, sobre los resultados de los análisis de calidad de los productos elaborados y de organizar y supervisar las tareas desarrolladas por sus subordinados. Algunas de sus funciones son:

- Desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual debe trabajar conjuntamente con las áreas vinculadas.
- Controlar que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, y de lo contrario reportar al jefe de planta.
- Contar con equipamiento específico que funcione correctamente y esté calibrado según los patrones establecidos.
- Responsabilizarse del entrenamiento y capacitación de su personal.
- Garantizar que se estén utilizando las materias primas adecuadas y verificar que las actividades de su área se realicen de acuerdo a lo establecido.
- Tener registro de todos los procedimientos realizados y de los análisis de materias primas y productos.
- Solicitar toma de muestras en campo y analizar las determinaciones con el objeto de verificar desvíos en las condiciones de proceso.
- Administrar documentación técnica y mantenerla actualizada, en especial de la base de datos del laboratorio.

Investigación y desarrollo (I+D): encargado de dirigir y coordinar las actividades relacionadas con el análisis y desarrollo de productos de la empresa. Lleva a cabo tanto acciones relacionadas con la actualización de los productos existentes de la empresa, como el desarrollo y evaluación de nuevos productos.

Este profesional tiene que estar al día de las tendencias de los mercados para poder detectar las oportunidades de negocio para la empresa. Además, tiene que colaborar con los demás departamentos de la empresa para poder estudiar bien las necesidades relacionadas con la innovación productiva.

Las principales tareas de este profesional son:

- Planificar, dirigir y coordinar las actividades de investigación y desarrollo, para crear procedimientos, productos, conocimientos o modos de utilización de materiales nuevos o perfeccionados.
- Planificar el programa general de investigación y desarrollo de la empresa, definir las metas de los proyectos y fijar sus presupuestos.
- Dirigir y gestionar las actividades del personal de investigación y desarrollo.

- Coordinar y controlar el desarrollo de proyectos en centros de investigación externos supervisando plazos, costes y calidad.
- Establecer y gestionar presupuestos, controlar los gastos y asegurar la utilización eficiente de los recursos.

Analistas de laboratorio: Sus actividades son:

- Realizar los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos de la planta.
- Realizar las tareas que aporten a la investigación y desarrollo.
- Mantener el orden y la limpieza del laboratorio.

Departamento de producción

El departamento de producción tiene a cargo la elaboración del producto, el desarrollo e implementación de los planes productivos y el estudio de la factibilidad de nuevos procesos o de modificaciones de los ya existentes. Además, es su responsabilidad respetar los estándares y patrones de calidad para la obtención de un producto final de las características instituidas.

Jefe de producción: Es el encargado de planificar la producción asegurando el cumplimiento de los planes establecidos. Sus actividades son:

- Coordinar los equipos de trabajo.
- Verificar la calidad, cantidades y las características de los materiales de construcción a su cargo.
- Controlar que los operarios trabajen de manera eficiente (trabajando en contacto con los supervisores).
- Asegurar que se cumplan las condiciones de instalación, de puesta en marcha, mantenimiento preventivo de los equipos; conservando los manuales y las garantías de cada equipo.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten; y de las personas que los lleven a cabo y dirijan estos.

Supervisores de producción: Los supervisores son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Sus actividades son:

- Planificar el trabajo del día, estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles.
- Controlar a los operarios, a los cuales debe impartir órdenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente.
- Informar al jefe de planta cualquier desviación o problema ocurrido.

Panelista: Sus principales funciones son:

- Control de operaciones en modo automático y remoto desde la sala de control.
- Arranque y parada de planta en modo normal, emergencia o pruebas.
- Vigilancia de parámetros de operación e identificación de criticidad de alarmas de los sistemas en operación.

Operarios de producción: Sus actividades son:

- Se encargan del manejo y el correcto desempeño de los equipos que tienen a su cargo.
- Cumplir con las tareas que le son asignadas y con las normas establecidas por sus superiores, además de asegurar una correcta limpieza de su zona de trabajo y controlan las distintas variables puestas en juego en el proceso, permitiendo que la planta logre un correcto accionar.

- Completar los registros, informar desperfectos para ser llevados al área de mantenimiento y poner en evidencia a su superior ante la ocurrencia de desviaciones en la calidad del producto.

Departamento de mantenimiento

Esta sección tiene como finalidad supervisar el mantenimiento de las instalaciones y reparación de equipos, estimando el tiempo y los materiales necesarios para realizarlo.

Se planifica, coordina y controla el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y sistemas eléctricos que se utilizan en las instalaciones.

Jefe de mantenimiento: Debe establecer en forma conjunta con el encargado de producción, un plan de mantenimiento anual y mensual de los sistemas eléctricos, mecánicos y edilicios. Sus actividades son:

- Encargado de verificar la calidad, cantidades y características de los materiales de construcción que se utilizan en cada sección de la planta.
- Controlar la correcta ejecución de las tareas de montaje.
- Verificar especificaciones técnicas del equipamiento que se va a adquirir, colaborando con la decisión de la compra.
- Asegurar que se cumplan las condiciones en: instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de los equipos; conservando manuales y las garantías de cada equipo.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten y de las personas que los llevan a cabo y dirigen estos.
- Planificar los mantenimientos.

Operarios de mantenimiento: Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc.

Departamento de administración

El departamento de administración se encarga de la organización dinámica de la empresa orientando sus esfuerzos hacia el cumplimiento de los objetivos de la empresa. Además, es su deber optimizar las relaciones entre cliente, proveedores, mercado económico y fuentes de financiamiento. Dentro de este departamento se encuentra el jefe administrativo, el responsable de recursos humanos, el contador y el licenciado en marketing, cuyas actividades se describen a continuación.

Jefe administrativo: Sus actividades son:

- Coordinar, supervisar y controlar la ejecución de los procedimientos administrativos y contables que rigen el funcionamiento interno de la organización.
- Realizar altas y actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes.
- Confeccionar balances mensuales e informes periódicos a solicitud de la gerencia.
- Realizar el control y seguimiento de gastos.

Responsable de recursos humanos: Sus funciones son:

- Fomentar una relación de cooperación entre directivos y trabajadores para evitar enfrentamientos derivados por una relación jerárquica tradicional.
- Fomentar la participación activa entre todos los trabajadores para que se comprometan con los objetivos de la empresa.

- Establecer el monto del salario, mediante el proceso de negociación entre la empresa y los sindicatos de trabajadores.
- Encargado del proceso de reclutamiento, selección e ingreso del personal.

Contador: Sus actividades son:

- Formula estados financieros e investiga y da soluciones a los problemas referentes a la falta de información para el registro contable.
- Identifica y analiza los ingresos, egresos y gastos que se dan en la empresa.
- Informa periódicamente todos los resultados obtenidos al gerente comercial.
- Prepara y ordena la información financiera y estadística para la toma de decisiones de las autoridades superiores.
- Se encarga del control y seguimiento de los gastos generados.
- Encargado de liquidación de sueldos.

Departamento de logística

Es el encargado de realizar las compras de materias primas e insumos que se utilizan en las distintas partes de la empresa, fijándose las políticas de supply chain (cadena de abastecimiento y suministros) de las mismas. Su función está en constante relación con los departamentos de producción y administración, y fundamentalmente con los proveedores de la empresa.

Comprende, también, el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto, embalajes y el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Encierra, además, las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio post-venta.

Encargado de logística: Deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Cumplir con los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Crear relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Establecer la política de precios del producto final.
- Definir e implementar planes de acción para reducir costos, los plazos de entrega y mantener los stocks necesarios para responder a las necesidades del cliente.
- Negociar y gestionar la compra y entrega de materias primas e insumos.
- Verificar el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabajar junto con el área administrativa de la planta en la redacción de órdenes de compra.
- Gestionar el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias, entre otros.
- Realizar el seguimiento de la distribución del producto final.
- Realizar informes de costos.
- Realizar mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

Organización de la producción y turnos de trabajo

En el proceso hay partes que operan de manera continua, como partes que no. En el sector de producción continua, ciertos puestos de trabajo deben ser cubiertos durante las 24 horas del día, es por eso que la industria cuenta con un grupo de empleados bajo HORARIO ROTATIVO (HR).

Es decir que en producción continua de la planta los cuatro turnos que rotan se van a encontrar en las siguientes condiciones:

Turno 1: Mañana (de 06:00 h a 14:00 h).

Turno 2: Tarde (de 14:00 h a 22:00 h).

Turno 3: Noche (de 22:00 h a 06:00 h).

Turno 4: Franco.

Existe además otro horario en la industria, que se trabajan solo en turno mañana (Lunes a Sábado), al cual se denominó como HORARIO DE CARGA (HC).

En la siguiente tabla se representa al personal completo de la planta.

Tabla 147A: Personal de la planta

Área	Puesto	Horario	Cantidad de empleados
Gerencia general	Gerente	-	1
Calidad	Jefatura	HC	1
	I + D	HC	1
	Analista	HC	1
Producción	Jefatura	HC	1
	Supervisor	HC	1
	Panelista	HR	8
	Operario de fermentación	HR	4
	Operario encargado de biofiltro y PSA.	HR	2
	Operario de inspección visual	HR	4
	Operario de carga y descarga	HC	1
Mantenimiento	Jefatura	HC	1
	Operario	HR	4
Logística	Encargado	HC	1

Fuente: Elaboración propia

15 Instalaciones eléctricas

15.1. Introducción

En el siguiente capítulo se describe de manera general las características de las instalaciones eléctricas y el consumo de los equipos utilizados en el proceso, desde los tanques de almacenamiento de biometano hasta nuestro producto final.

También se realizan los cálculos para determinar los requerimientos de consumo energético de iluminación y equipos correspondientes.

En el diseño, se adaptan las normas IRAM de manera de garantizar la correcta seguridad del personal, reducir costos y calidad del personal.

15.1.1. Descripción general

El terreno anexo a la planta de Biometano cuenta con una red de distribución de energía eléctrica de media tensión para grandes usuarios de kV y kW de la E.P.E.C (Empresa Provincial de Energía de Córdoba), lo suficiente como para abastecer a la planta.

El requerimiento de potencia total se determina considerando el consumo de los artefactos utilizados para la iluminación y el correspondiente a cada uno de los equipos que se encuentran involucrados en el proceso productivo. Los circuitos de alumbrado emplean corriente alterna monofásica de 220 V, mientras que en los circuitos de fuerza motriz la corriente utilizada es alterna trifásica de 380 V.

Descripción de las instalaciones eléctricas

A continuación, se detallarán los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas:

Conductores eléctricos (cables): Realizan la conducción de la energía eléctrica desde donde se produce hasta donde se va a utilizar. Los metales habitualmente usados para la fabricación de cables son de cobre, aluminio o aleaciones de este último. Poseen un alambre central de material conductor, cuya sección está determinada por la corriente a conducir y limitada por el calentamiento y la caída de tensión que provoca. Externamente poseen una cubierta de aislante térmica y eléctrica. Está cubierta de material plástico, principalmente de policloruro de vinilo (PVC). Este tipo de material tiene la desventaja de endurecerse y volverse frágil a bajas temperaturas y ablandarse a altas, pero tiene la ventaja de retomar sus propiedades físicas a temperaturas normales. Una temperatura del orden de los 70 °C se considera la máxima recomendada, sin descartar que algunos tipos de plásticos pueden tolerar temperaturas del orden de los 100 °C.

Bandejas portacables: son dispositivos que se emplean para contener a los conductores, de manera que estos queden protegidos contra deterioro mecánico, contaminación y a su vez protejan a la instalación contra incendios. En la planta se utilizan canalizaciones del tipo escalera y ducto ya que las estructuras son metálicas y algunas de hormigón prefabricado.

Tableros: Contienen los dispositivos necesarios para la operación, rastreo, protección y control de todas las instalaciones eléctricas. Permite la correcta distribución de la corriente eléctrica a todos los sectores de la industria. Deben construirse con materiales metálicos o plásticos que sean: no inflamables, no higroscópicos, que posean resistencia mecánica para soportar cargas y una baja constante dieléctrica. En los tableros, los circuitos se bifurcan y ordenan convenientemente. Éstos están formados por aparatos de maniobra, con llaves o conmutadores, aparatos de protección, como

fusibles y llaves automáticas, aparatos de medición, como medidores de energía, amperímetros, voltímetros, etc. Son generalmente paneles verticales colocados dentro de cajas. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona. Los tableros, clasificados desde el punto de vista de su operación son:

- Tablero principal: opera toda la instalación
- Tablero seccional: opera circuitos
- Tablero subseccional: opera solo una parte del circuito

Tomacorrientes: Es todo lugar donde se consume energía eléctrica. Se calcula la potencia requerida para los tomacorrientes fijando los W de salida. Para oficinas y usos generales se usarán tomacorrientes para 150 y 300 W, mientras que en la zona de producción es de 2000 W.

Transformadores: Se utiliza para soportar los esfuerzos de cortocircuito externo, sobretensiones de impulso y maniobra, y para lograr una disipación óptima del calor. Está instalado en la subestación eléctrica y desde ahí se distribuye la electricidad hacia toda la planta.

Dispositivos de protección: Los circuitos eléctricos pueden tener fallas que provoquen daños letales al organismo. Es por ello que el circuito debe estar conectado a tierra, con lo cual, ante la abertura del circuito la corriente es derivada al suelo y se protege a la persona que está en contacto con la instalación. En una instalación industrial las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables deben estar conectados a tierra. La puesta a tierra debe tener este tipo de conexión las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos eléctricos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables.

Iluminación: El propósito de la iluminación en la industria es proporcionar una visibilidad eficiente y cómoda en el trabajo, así como ayudar a mantener un ambiente seguro. Para seleccionar la iluminación adecuada es necesario determinar: la tarea visual o tipo de trabajo que se va a desarrollar, la cantidad, la calidad y el tipo de iluminación de acuerdo con la tarea visual y los requerimientos de seguridad y comodidad, el equipo de alumbrado o luminarias que proporcionen la luz requerida.

Una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el caso del trabajador, conserva su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los accidentes. A la empresa le proporciona un aumento en la producción, disminuye el número de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento, mejora la utilización del espacio, etc.

Más adelante se da un detalle de la cantidad y los tipos de luminaria a utilizar tanto en las partes interiores como en las exteriores de todo el proceso.

Iluminación de emergencia: Suministra iluminación a vías de evacuación, escaleras y en los casos de interrupción de servicio normal. Debe tomar energía de una conexión independiente y distinta a la del servicio principal y ser capaz de mantener la intensidad de 5 luxes por lo menos durante una hora.

Pararayos: Es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones.

Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso

En la siguiente tabla se detallan los consumos de potencia de cada equipo por día, considerando las horas de funcionamiento en un ciclo de producción de 365 días.

Tabla 148. Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso

Equipo	Potencia (kW)	Funcionamiento (h/día)	Consumo eléctrico (kWh/día)	Consumo eléctrico (kWh/año)	
Bombas	P-01	0,284	24	6,81	2487,84
	P-02	0,14	24	3,36	1226,40
	P-03	2,23	24	53,52	19534,80
	P-04	0,21	24	5,04	1839,60
	P-05	0,37	24	8,88	3241,20
	P-06	0,37	24	8,88	3241,20
	P-07	0,30	24	7,20	2628
	P-08	1,49	24	35,76	13052,40
	P-09	0,24	24	5,76	2102,40
	P-10	0,37	6	2,22	810,30
	P-11	0,37	24	8,88	3241,20
	P-12	0,03	24	0,72	262,80
	P-13	0,24	24	5,76	2102,40
	P-14	0,22	24	5,37	1959,69
	P-15	0,22	24	5,37	1959,69
	P-16	0,22	24	5,37	1959,69
	P-17	0,22	24	5,37	1959,69
	P-18	0,22	24	5,37	1959,69
	P-19	0,22	24	5,37	1959,69
	P-20	0,22	24	5,37	1959,69
	P-21	0,22	24	5,37	1959,69
	P-22	0,22	Emergencia		
	P-23	0,22	24	5,37	1959,69
Cintas Transportadoras	X-02	0,19	24	4,56	1664,40
	X-03	0,19	24	4,56	1664,40
	X-04	0,19	24	4,56	1664,40
Tornillos Helicoidales	X-01	0,37	24	8,88	3241,20
	X-05	0,19	24	4,56	1664,40
	X-06	0,37	24	8,88	3241,20
Compresor	K-01	18,04	24	432,96	158030,40
Agitador de reactor	R-03	0,83	24	19,92	7270,80
Zaranda	S-01	0,65	24	15,60	5694
Separador Magnético	S-02	1,5	24	36	13140
Molino de martillos	RT-01	11	24	264	96360
Mezclador	ME-01	3,73	24	89,52	32674,80
Mezclador	ME-01	3,73	24	89,52	32674,80
Sistema PSA	C-01	21	24	504	183960
Separador Helicoidal	S-03	1,1	24	26,4	9636
Torre de Enfriamiento	TE-01	14	24	336	122640
Mezclador	ME-02	3,73	24	89,52	32674,80
Total				2.633,82	961.344,30

Fuente: Elaboración propia.

Requerimiento de iluminación

El nivel mínimo de iluminación requerida por los diversos espacios físicos de la planta está calculado en base a los requisitos de las normas IRAM, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 149. Niveles mínimos de iluminaciones por actividad y sectores.

Clase de actividad visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)
Visión ocasional solamente	100
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500 a 3000
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000
Tipo de edificio, local y tarea visual	
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Sobre equipos	400
Laboratorio de ensayo y control	600
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Panel de control	600
Sala de calderas	600
Baños	150
Comedor	200
Oficinas	600

Fuente: Norma IRAM-AADL J 20-06.

Para obtener el nivel de iluminación necesario y deseado para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones que poseen los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realice en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada (m^2).

Adopción de tipos de luminarias para iluminación

Las lámparas necesarias para iluminación se adoptan teniendo en cuenta los siguientes factores: el consumo energético, la economía de instalación, el mantenimiento que debe realizarse como así también el nivel de iluminación, las dimensiones del sector y la exposición al medio ambiente. En la siguiente tabla se especifican el tipo de lámpara adoptado para cada zona.

Tabla 1430. Adopción de luminarias para cada zona de la planta.

Sector	Tipo de lámpara	Luminosidad	Potencia
Oficinas	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Sala de reuniones	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Laboratorio	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Sector de producción	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL200	20000 lm	200 W
Sala de control	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Taller mecánico / eléctrico	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL150	15000 lm	150 W
Garita de seguridad	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Hall de acceso y recepción	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Alumbrado exterior	Luminaria Lucciola Serie SOLAR LED Modelo: SOO070	11000 lm	70 W
Comedor	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Baños y vestuarios	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de lámparas requeridas para la iluminación interior y exterior se emplearán un conjunto de ecuaciones que se mostrarán a continuación. Para las luminarias que solo se encenderán de noche, funcionaran entre las 18:00 y 6:00 hs respectivamente.

Calculo del número de luminarias interiores

De acuerdo con los requisitos lumínicos de cada sector se procede a los cálculos de la cantidad de lámparas necesarias para cubrir las necesidades de iluminación establecidos.

Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de Lámparas} = \frac{E \cdot S}{F_m \cdot F_u \cdot I_l}$$

Dónde:

- E: nivel de iluminación (lux).
- S: superficie del sector a iluminar (m²).
- F_m: factor de mantenimiento.
- F_u: factor de utilización.
- I_l: flujo luminoso de la lámpara (lumen).

El factor de mantenimiento está relacionado con el ensuciamiento de la iluminación, lo cual se ve

reflejado en una disminución de la intensidad de iluminación. Este factor, se designa según los diversos

sectores de las empresas siendo este de un 90% para lugares donde hay baja polución en luminarias de interior y de un 80% para luminarias de exterior. Cuando la polución en el medio exterior es importante se utiliza un factor del 60%, cuando es moderada de un 70%, y, cuando es reducida, de un 80%.

El factor de utilización nos da el rendimiento de las luminarias ubicadas en los sectores analizados, y se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Dónde:

- K: índice del local.
- a: largo de la superficie.
- b: ancho de la superficie.
- h: altura de las lámparas.

Los factores de reflexión del techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabados de un plano, lo que definen su color. En la siguiente tabla se resumen estos valores.

Tabla 144. Factores de reflexión para techos, paredes y pisos

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Se adopta un factor de reflexión de 0,5 para techo y 0,5 para las paredes, considerando que serán de un color claro.

La altura del edificio se consideró 3 m todas las áreas excepto en la zona de producción que se considera 5m.

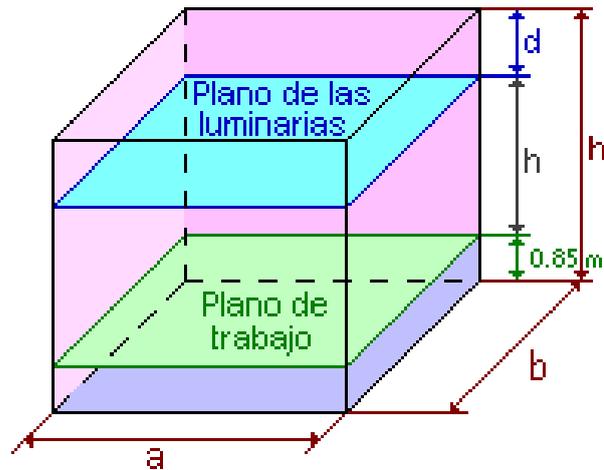


Figura 124. Esquema de un recinto con los índices necesarios en luminaria

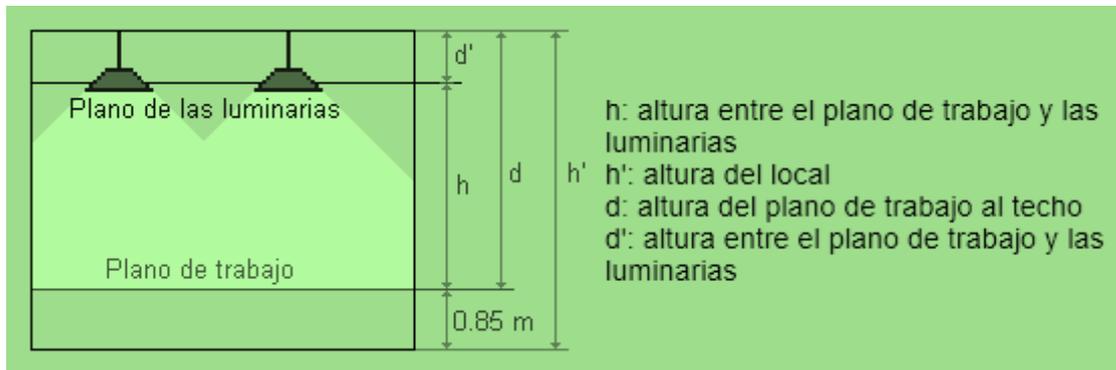
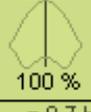


Figura 125. Esquema de un recinto con los índices necesarios en luminaria

A partir del índice del local y los factores de reflexión se determina el factor de utilización en las tablas de suministradas por los fabricantes de lámparas.

Tabla 145. Factores de utilización para diferentes factores k

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0		0	
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 0 %  100 %	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89
	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94
$D_{max} = 0.7 H_m$ f_m .70 .75 .80													

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

A continuación, se presenta una tabla en donde se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Tabla 151 Cantidad de lámparas en las zonas cubiertas.

Sector	E (lux)	S (m2)	K	Fu	Fm	Il (lm)	Nº de lámparas calculadas	Nº de lámparas adoptadas
Oficinas	600	48	1,14	0,82	0,9	3.800	8,77	9
Sala de reuniones	600	15	0,59	0,64	0,9	3.800	4,11	5
Laboratorio	600	24	0,8	0,74	0,9	3.800	5,69	6
Sala de control	600	24	0,8	0,74	0,9	3.800	5,69	6
Área de producción 1	600	24,6	0,41	0,60	0,6	20.000	2,00	2
Área de producción 2	600	29,0	0,41	0,6	0,6	20.000	2,41	3
Hall de acceso y recepción	600	27	0,85	0,76	0,9	3.800	6,23	7
Garita de seguridad	600	6	0,4	0,6	0,9	3.800	1,75	2
Cocina y Comedor	200	25	0,83	0,75	0,9	3.800	1,94	2
Baños y vestuarios	150	25	0,83	0,72	0,9	3.800	1,46	2
Taller de mantenimiento	400	48	0,90 9	0,78	0,8	15.000	2,00	2

Fuente: Elaboración propia.

Calculo del número de luminarias exteriores

La iluminación de áreas exteriores requiere de lámparas con carcasa reforzadas (reflectores) para que logre resistir las condiciones ambientales exteriores.

Se utiliza el siguiente método para determinar el número de reflectores; primero se calcula el flujo luminoso total (ϕ) con la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{N_i \cdot S}{K}$$

Dónde:

- N_i : nivel de iluminación deseado.
- S: superficie a iluminar.
- K: coeficiente de utilización.

Para nuestro caso y tomando en consideración la pérdida de flujo luminoso por condiciones ambientales, se adopta un valor de K entre 0,20 y 0,35. Luego se determina el número de reflectores mediante la siguiente expresión:

Dónde: $N^\circ \text{ de reflectores} =$

$$\frac{\phi}{\phi_l}$$

- ϕ_i : flujo de cada luminaria.

Tabla 152 Cantidad de reflectores en las zonas exteriores.

Sector	Nivel de iluminación	S (m ²)	ϕ_l (lm)	Numero de reflectores
Playa de estacionamiento	100	120	11.000	1
Sector de producción	200	1.030	11.000	6
Vías de circulación	100	1489	11.000	3
Almacenamiento de MP	200	735	11.000	6

Fuente: Elaboración propia.

Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación

En la siguiente tabla se muestran los consumos diarios y anuales de las luminarias de cada uno de los sectores. Como no todos los sectores requieren que las luminarias estén encendidas las 24 horas, en la misma se muestran las horas/día que estarán encendidas.

Tabla 153 Consumo energético del sistema de iluminación.

Sector	Nº de lámparas adoptadas	Potencia (kW)	Frecuencia (h/día)	Consumo diario total (kWh/día)	Consumo anual total (kWh/año)
Oficinas	9	0,024	8	1,72	630,72
Sala de reuniones	5	0,024	2	0,24	87,6
Laboratorio	6	0,024	24	3,45	1.261
Sala de control	6	0,024	24	3,45	1.261
Área de producción 1	2	1,20	12	28,88	10.512
Área de producción 2	3	1,20	12	43,20	15.768
Garita de seguridad	2	0,024	24	1,15	420,48
Hall de acceso y recepción	6	0,024	8	1,15	420,48
Cocina y Comedor	2	0,024	8	0,38	140,16
Baños y vestuarios oficina	2	0,024	8	0,38	140,16
Taller mantenimiento	2	0,15	24	7,20	2628
Playa de estacionamiento	1	0,07	12	0,84	306,6
Vías de circulación	3	0,07	12	2,52	919,80
Sector de Producción	6	0,283	12	20,37	7.437,24
Almacenamiento de MP	6	0,283	12	20,37	7.437,24
Total				135,24	49.361,87

Fuente: Elaboración propia.

Consumo total de energía eléctrica de la planta

El consumo total de energía eléctrica de la planta, que contempla el consumo de los equipos involucrados en la producción y servicios auxiliares, como así las luminarias, se encuentra descrito en la siguiente tabla.

Tabla 154 Consumo total de energía eléctrica de la planta.

Tipo de consumo	Consumo diario (kWh)	Consumo anual (kWh)
Equipos	2.633,82	961.344,30
Iluminación	135,24	49.361,87
Total	2.769,06	1.010.706,90

Fuente: Elaboración propia.

16. Control automático de procesos

16.1. Introducción

El control automático de procesos es una manera de mantener las variables controladas, dentro del punto de control, a pesar de las diversas perturbaciones que puede ocurrir.

Las razones por las cual se implementa en la industria:

- Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo.
- Mantener la calidad del producto en un nivel continuo y con un costo mínimo.
- Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

16.2. Control automático

Como se dijo anteriormente se define como una manera de mantener la variable controlada en el punto de control, el trabajo se realiza mediante dispositivos, generalmente electrónicos, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de este y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, estabilizando el sistema de control.

El sistema de control consta de cuatro componentes básicos, ellos son:

- Sensor, es el elemento primario.
- Transmisor, elemento secundario.
- Controlador, es el cerebro del sistema de control.

Elemento final de control, es el que actúa.

El sensor puede ser un termopar, un dispositivo de resistencia térmica, termómetros de sistema de lleno, termisores, etc. Es el encargado de medir la variable a considerar, se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. Éste último recibe la señal, la compara con el valor deseado, y según el resultado de comparación, decide que hacer para mantener el valor requerido. Con base a esto, manda una señal al elemento final de control, el cual actúa.

16.2.1. Control del filtro biológico FIL-01

Se instalará un controlador Proporcional Integral (PI) para controlar la temperatura, el nivel de líquido en el fondo de la columna y la concentración de salida de H_2S . Para el caso del pH se selecciona un controlador tipo on / off. Se escoge este tipo de control porque la parte diferencial de un controlador PID en caso de un ruido puede causar una gran inestabilidad en el sistema, haciendo que unas pequeñas variaciones causen una gran salida.

Se debe de tener en cuenta que el controlador PI es un cálculo matemático, el que envía la información es el PLC.

Los puntos de consigna serán:

Tabla 155. Puntos de consigna para las variables del biofiltro

Variable	Valor	Unidad
Temperatura	30	°C
pH	7,4	
Nivel de liquido	0,90	m
Concentración de H ₂ S	15	Ppmv

El esquema general de un sistema de control cerrado (retroalimentado) es:

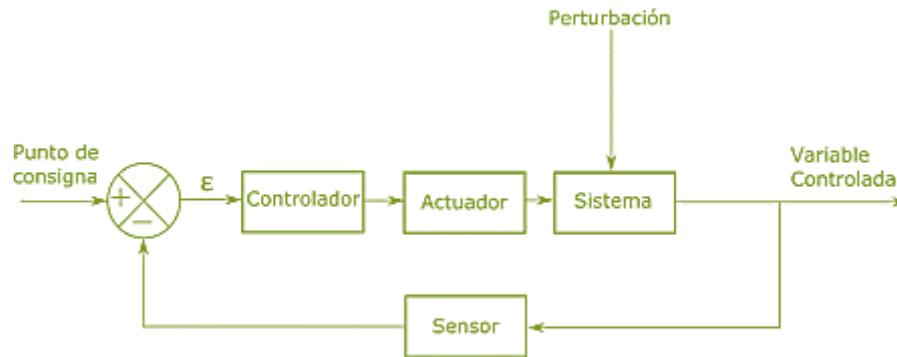


Figura 126. Esquema general de un sistema de control

Temperatura

En este caso, la variable controlada será la temperatura, mientras que la manipulada será el caudal de agua procedente de la cogeneración, por lo que el actuador será la válvula regulación CVA-07 y su controlador PI. Su punto de consigna es 30 °C, y su esquema se representa de la siguiente manera:

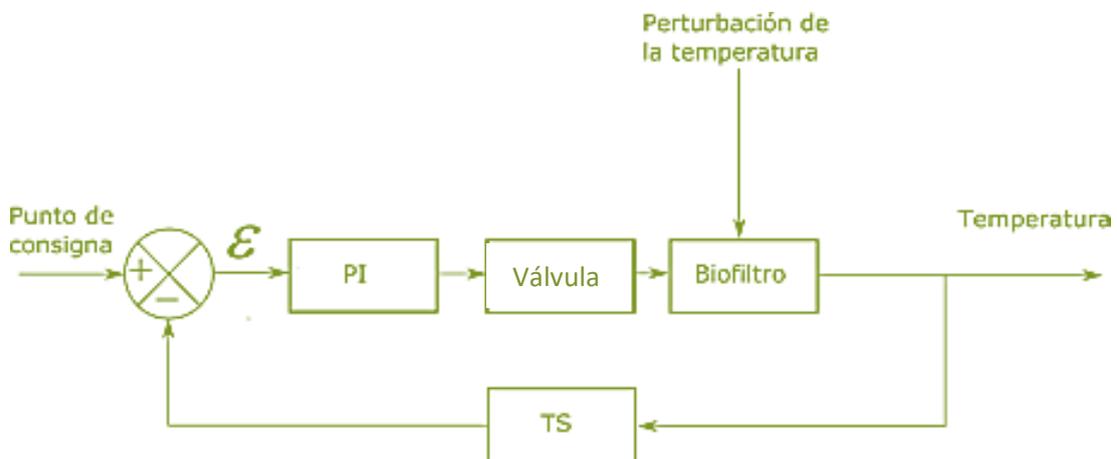


Figura 127. Esquema de sistema de control de temperatura

pH

Aquí la variable controlada es el propio pH, mientras que la variable manipulada será el caudal de NaOH, por lo que el actuador será la válvula de regulación CVA-05. Su controlador de tipo On-Off. Esto es debido a que en caso que el pH esté por debajo del punto de consigna, habrá que suministrarle NaOH con un caudal estimado, y cuando supere dicho punto, cesar en el suministro con el fin de no elevar demasiado el pH. Su punto de consigna es 7,4. Su esquema es el siguiente:

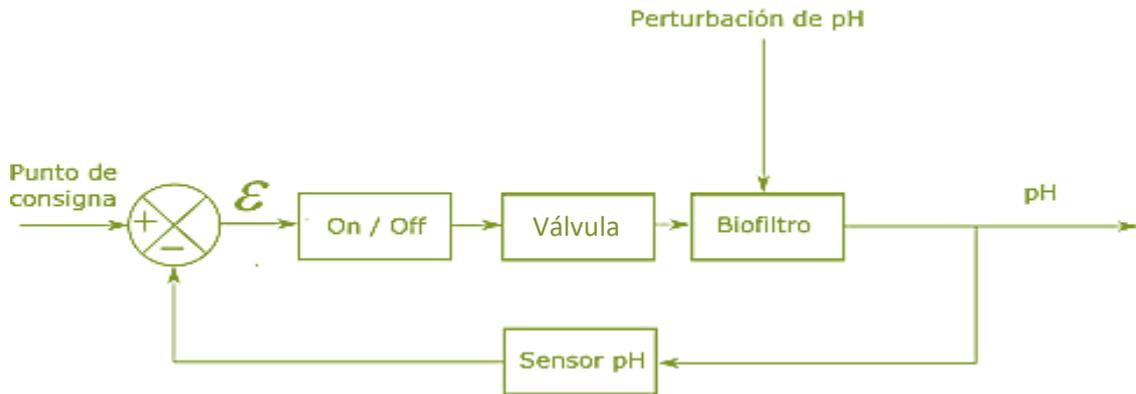


Figura 128. Esquema de sistema de control de pH

Nivel

La variable controlada será el propio nivel de líquido, mientras que la variable manipulada será el caudal de purga del biofiltro, por lo que el actuador será la válvula de regulación CVA-04 y el controlador será un On-Off. Su punto de consigna es 0,9 m. Su esquema se encuentra a continuación:

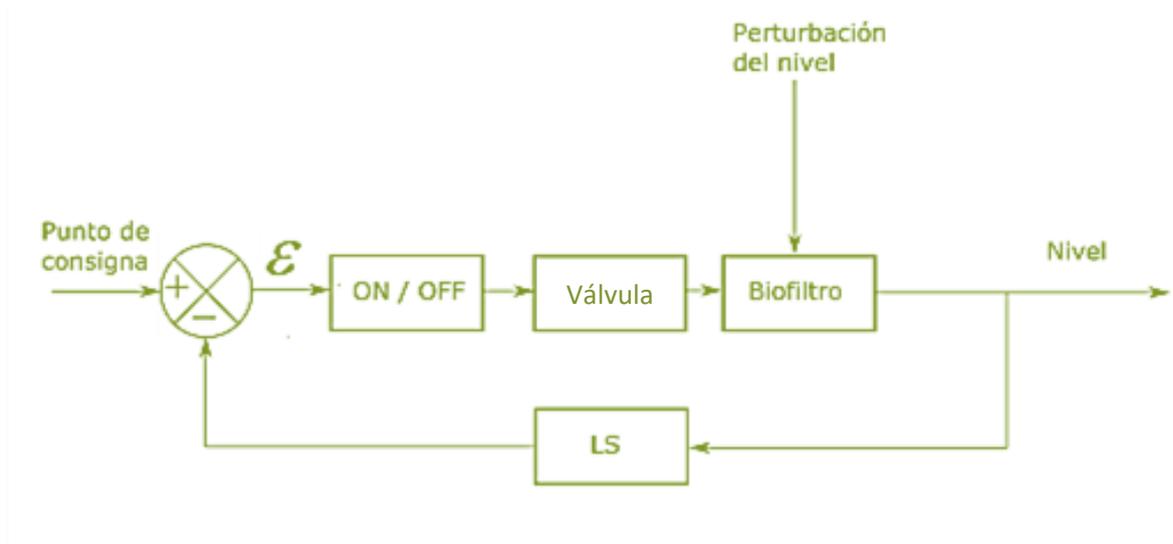


Figura 129. Esquema de sistema de control de nivel

Concentración de H₂S

La variable controlada será la propia concentración, mientras que la manipulada será el caudal procedente del sistema de nitrificación o el caudal del depósito de nitrato químico. Si la válvula CV-03 puede aportar el caudal, se selecciona dicha válvula como actuador, en caso contrario, se selecciona como actuador la válvula CV-08. Su punto de consigna es de 15 ppmv. El esquema del mismo es:

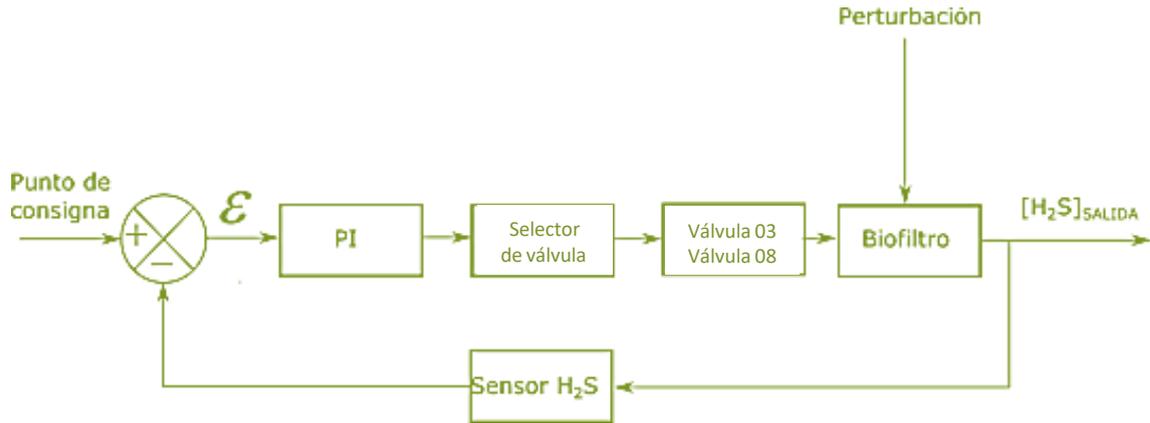


Figura 130. Esquema de sistema de control de concentración de H₂S

A continuación, en la Figura 131, se detalla el P&D del sector de la planta automatizado.

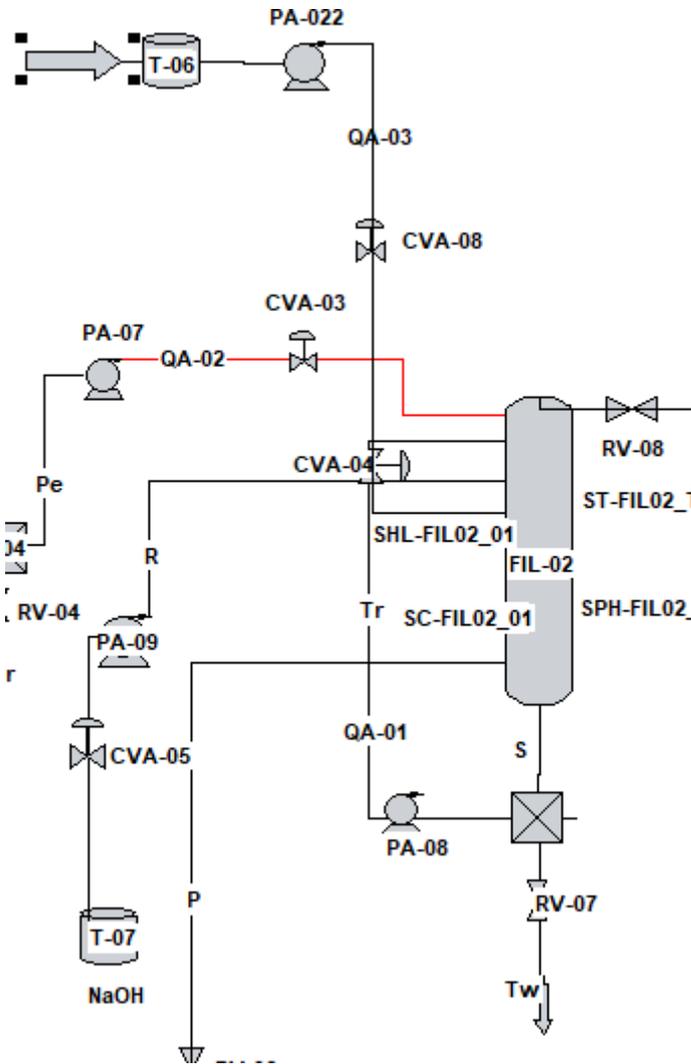


Figura 131 Sección automatizada del proceso

16.2.2. Hojas de especificación de instrumentos

Válvulas de globo

Las válvulas de globo son ideales para ciclos rápidos, resistentes a altas temperaturas y eficaces en aplicaciones de regulación. Se utilizan con frecuencia para el control de vapor y en el tratamiento de agua y aguas residuales, pueden utilizarse en una gran variedad de aplicaciones dentro de los procesos industriales, en la Figura 132 se puede observar su forma.



Figura 132: Válvula globo

En la siguiente tabla se puede observar las características de una de las válvulas adoptadas.

Tabla 156. Características de las válvulas adoptadas

Hoja de Especificación		VALVULA MODULANTE			
		TAG	CVA-03	CVA-04	CVA-05
GENERAL	Servicio	Solución de proceso	Solución de proceso	Solución reguladora de pH	Agua que regula temperatura
	Ubicación	Entrada a la torre FIL-02	Entrada a la torre FIL-02	Entrada a la torre FIL-02	Entrada a tanque T-05
	Diámetro Línea (mm)	33,40	60,33	33,40	21,34
	Sector	Desulfuración	Desulfuración	Desulfuración	Nitrificación
	Tipo de Válvula	Globo	Globo	Globo	Globo
CUERPO	Conexión / Extremos	Brida	Brida	Brida	Brida
	Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
	Otro	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
	Tipo de Actuador	Electroneumático	Electroneumático	Electroneumático	Electroneumático
ACTUADOR	Fluido Motor	Aire comprimido	Aire comprimido	Aire comprimido	Aire comprimido
	Presión Fluido Motor	6,12 kg/m ²	6,12 kg/m ²	6,12 kg/m ²	6,12 kg/m ²
	Voltaje	24 V	24 V	24 V	24 V
	Transmisor	Analógico	Analógico	Analógico	Analógico
	Fluido Motor	Solución de nitrato	Solución de nitrato	NaOH	Agua
CONDICIONES OPERATIVAS	Caudal Máximo (kg/h)	600	24.500	2	500
	Caudal Operativo (kg/h)	524,22	24.209,90	1,40	375,55
	Caudal Mínimo (kg/h)	393	24.000	1	300
	Presión Entrada (atm)	1	1	1	1
	Presión Salida	1	1	1	1
	Temp. Max.	33	33	25	26
	Densidad kg/m ³	1.000	1.000	1.520	1.000
	Viscosidad kg/m*s	0,001	0,001	0,001	0,001
	% sólidos en suspensión	6	6	0	0

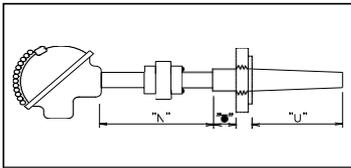
Transmisor de temperatura

Las funciones que cumple un transmisor de temperatura son aislar, amplificar, filtrar sonido, linealizar y convertir la señal de entrada a una señal estandarizada de control. Se representa en la Figura 133, en la siguiente tabla se muestran las características del instrumento adoptado.



Figura 133: transmisor de temperatura

Tabla 157 características de transmisor adoptado

Hoja de Especificación		TRANSMISOR DE TEMPERATURA					
<p>1. <input type="checkbox"/> Transmisor <input checked="" type="checkbox"/> SI Termostato <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">CABEZAL</p> <p>2. <input type="checkbox"/> Roscado <input checked="" type="checkbox"/> SI Otro <input type="checkbox"/></p> <p>3. <input type="checkbox"/> Antiexplosivo <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">ELEMENTO DE MEDICION</p> <p>4. Platino <input checked="" type="checkbox"/> SI Otro <input type="checkbox"/></p> <p>5. Rango Resistencia _____</p> <p>6. Temperatura Ver cuadro <u>debajo</u> _____</p> <p>7. Conexión a proceso _____</p> <p>8. Alimentación 24 V <input type="checkbox"/> 12 V <input type="checkbox"/></p> <p>9. Conexión Eléctr 2-Hilos <input type="checkbox"/> 3-Hilos <input type="checkbox"/> 4-Hilos <input type="checkbox"/></p>		<p style="text-align: center;">TERMOPOZO - VAINA</p> <p>10. <input type="checkbox"/> No Incluida <input checked="" type="checkbox"/> Incluida <input checked="" type="checkbox"/> SI</p> <p>11. Material: 304AISI <input type="checkbox"/> 316AISI <input checked="" type="checkbox"/> SI</p> <p>12. Conexión a proceso $\frac{1}{2}$ in. <input type="checkbox"/> $\frac{3}{4}$ in. <input type="checkbox"/></p> <p>13. OTROS</p> <p>a) _____</p> <p>b) _____</p>					
							
tag n°	tipo	ubicacion en proceso	Dimensiones		Rango (°C)	Sector	Observaciones
			"U"	"T" + "N"			
ST-FIL02-_05-01	Pt-100	Biofiltro FIL-02	50	STD	0-150	Desulfuración	

Transmisor de nivel

Se encarga de medir el nivel alto del biofiltro. En la Figura 134 se muestra su imagen y en la tabla 157-A las características adoptadas. La varilla vibratoria para aplicaciones sanitarias se puede instalar a través de un montaje superior o lateral para la detección de alto, medio o bajo nivel de una amplia variedad de materiales en polvo secos y a granel, incluido un inventario extremadamente liviano y esponjoso.

Cuenta con un accesorio sanitario de acero inoxidable de dos pulgadas para usar con la abrazadera estilo trébol que se quita fácilmente para limpiar y desinfectar. La barra es ideal para el procesamiento de alimentos y productos farmacéuticos o para su uso con cualquier otro material que requiera condiciones sanitarias.

Aplicaciones:

- Detección de nivel alto, medio y bajo en contenedores, silos, tanques, tolvas o conductos
- Entornos sanitarios que requieren una abrazadera estilo tri-clover para limpieza y saneamiento
- Diseñado para su uso en procesamiento de alimentos y productos farmacéuticos
- Ideal para una gran variedad de materiales secos y en polvo a granel

- Adecuado tanto para aplicaciones de montaje superior como lateral
- Entornos desafiantes para hacer la limpieza más fácil y segura



Figura 134 Transmisor de nivel

Tabla 157-A. Características del sensor de nivel adoptado

Hoja de Especificación		SWITCH DE NIVEL
GENERAL	TAG	SHL-FIL02_01
	SERVICIO	Nivel alto
	UBICACIÓN	FIL-02
	SECTOR	Desulfuración
	OTRO	
SENSOR TRANSMISOR	TIPO	Horquilla vibrante
	ORIENTACION	Lateral
	MATERIAL	Acero inoxidable 304
	LONGITUD APROXIMADA	30 cm
	CONEXIÓN A PROCESO	3/4" bsp
	VOLTAJE	20-250 v
	SEÑAL DE SALIDA	Por pulsaciones
PROCESO	FLUIDO	Líquido
	Presión Max.	9,87 atm
	Temperatura Max.	250 °C

Transmisor de caudal

Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. El SITRANS FM MAG 6000 I y el SITRANS FM MAG 6000 I Ex de, son transmisores de caudal basados en microprocesador que se pueden utilizar en los entornos industriales más duros. En la Figura 135 y en la siguiente tabla se muestran las condiciones.

Ventajas:

- Control de lotes avanzado incorporado.
- Carcasa robusta de aluminio fundido a presión de dos cámaras, adecuada para aplicaciones potencialmente explosivas.
- Función de dosificación incorporada.
- Exactitud $0,2\% \pm 1$ mm/s.
- Módulo de comunicación agregado para una fácil integración con su aplicación, proporcionando una solución totalmente integrada en toda la planta, etc.



Figura 135 Trasmisor de caudal

Tabla 158. Características de transmisores de caudal adoptados

Hoja de Especificación		TRANSMISORES DE CAUDAL			
GENERAL	TAG	QA-01	QA-03	QA-02	
	Tipo de Caudalímetro	Másico	Másico	Másico	
	Función	Medición	Medición	Medición	
	Ubicación	Cañería	Cañería	Cañería	
	Sector	Desulfuración	Desulfuración	Desulfuración	
	Otro				
CONEXIÓN A PROCESO	Diámetro Cañería	22,67 mm		60,33 mm	
	Material Cañería	aluminio fundido	aluminio fundido	aluminio fundido	
	Conexión / extremo	brida	brida	brida	
CONDICIONES DE PROCESO	FLUIDO	Fluido	solución de nitrato	solución de nitrato	fluido de recirculación
		Máximo Caudal (kg/h)	500		600
		Caudal Normal (kg/h)	375,55		524,22
		Max. Temp (°C)	26		33
		Max. Pres (atm)	1,1		1,1
		Densidad (kg/m³)	1000		1000
		Viscosidad (kgf/m²s)	0,001		0,001
TRANSMISOR	Voltaje para funcionamiento		24 v	24 v	24 v
	TRANS M	Señal de Salida	4-20 ma	4-20 ma	4-20 ma
		Indicador Local	si	si	si

Sensor de pH

Este sensor está conformado por un electrodo, el cual se ha diseñado para ofrecer una solución versátil y rentable para la medición en línea o sumergida de pH y ORP en una amplia variedad de aplicaciones. El mismo se coloca en el biofiltro, con el fin de obtener mediciones continuas de pH. Sus aplicaciones son:

- Tratamiento de aguas
- Sistemas de neutralización
- Supervisión de la calidad del agua
- Piscinas y SPA
- Acuicultura
- Sistemas agrícolas y de fertilización
- Control de procesos

En la Figura 136 se puede observar su forma y en la siguiente tabla sus características.

Tabla 159 característica del sensor de pH adoptado

Hoja de Especificación		SENSOR DE pH
GENERAL	TAG	SPH-FIL02_T07-01
	UBICACIÓN	FIL-02
	SECTOR	Desulfuración
	OTRO	
SENSOR TRANSMISOR	TIPO	Electrodo cónico de cuerpo epóxido
	ORIENTACION	Lateral
	MATERIAL	Nailon/sj – membrana de cristal
	CONEXIÓN A PROCESO	Boquilla roscada 1/2- 3/4
	VOLTAJE	220 mv
	SEÑAL DE SALIDA	Analógica
PROCESO	FLUIDO	Líquido
	Presión Max.	1-7 bar
	Temperatura Max.	25-65 °C



Figura 136 sensor de pH adoptado

Sensor de medición de concentración

Dicho sensor es un módulo electroquímico de propósito general y alto rendimiento, combina el principio de detección electroquímica madura con un diseño de circuito sofisticado. Consta de tres electrodos, un sensor de gas electroquímico y un microprocesador de alto rendimiento, permitiendo detectar la concentración del gas con precisión.

La salida es digital y de voltaje analógica al mismo tiempo, facilitando el uso, la calibración y el período de desarrollo.

Aplicaciones:

- Detector de gas portátil y fijo.
- Detecta varios gases, entre ellos CO, SO₂, NH₃, H₂S, O₂, etc.

En la Figura 137 Sensor de concentración de H₂S se observa su forma, y sus características en la tabla siguiente.



Figura 137 Sensor de concentración de H₂S

Tabla 160 características del sensor de concentración adoptado

Hoja de Especificación		SENSOR DE H₂S
GENERAL	TAG	SC-FIL02-01
	UBICACIÓN	FIL-02
	SECTOR	Desulfuración
	OTRO	
SENSOR	TIPO	Electrodo cónico de cuerpo epóxido
	ORIENTACION	Lateral
	MATERIAL	Membrana de cristal
TRANSMISOR	CONEXIÓN A PROCESO	5 conexiones de 1,5 mm de diámetro
	VOLTAJE	5 v
	SEÑAL DE SALIDA	Analógica
PROCESO	FLUIDO	Gas
	Presión Max.	1-7 bar
	Temperatura Max.	50 °C
	Rango de detección de H₂S	0-20 ppm

17. Estudio económico financiero

17.1. Introducción

En un proyecto económico, es de mayor importancia conocer la rentabilidad y sobre todo la viabilidad de este. Cada vez que se lleva a cabo un proyecto debe invertirse un capital significativo, que se espera recuperar junto con ganancias propias de la actividad. El rendimiento de este debe ser sustancial, de lo contrario es preferible la inversión en otros negocios dentro del mercado.

El estudio económico financiero y la evaluación son las últimas etapas del proyecto. Luego serán las etapas mencionadas, en los capítulos anteriores, las que van a determinar la inversión total necesaria, el plazo en el cual dicha inversión se recupera, la viabilidad y rentabilidad desde el punto de vista monetario.

Este capítulo cuenta con los siguientes objetivos:

- Estimar la inversión y sus componentes principales, para darle valor al crédito necesario para cubrirlo.
- Cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción como son, costos de materias primas, mano de obra, servicios, financieros, entre otros.
- Estimar los ingresos anuales por venta de Biometano.
- Deducir el punto de equilibrio, que determina la capacidad para la cual la empresa comienza a obtener ganancias.
- Determinar el estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos obtiene utilidades netas positivas.
- Cálculo de indicadores económicos, VAN, la TIR y el PRI.
- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.
- Establecer si el proyecto es viable analizando todos los ítems anteriores.
- Conclusiones y sugerencias para los aspectos débiles del proyecto.

17.2. Inversión

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos, diferidos y fondos de maniobra, necesarios para iniciar las operaciones de la empresa. En la Figura 138 se muestra la inversión con sus aristas más importantes y las categorías que la componen.

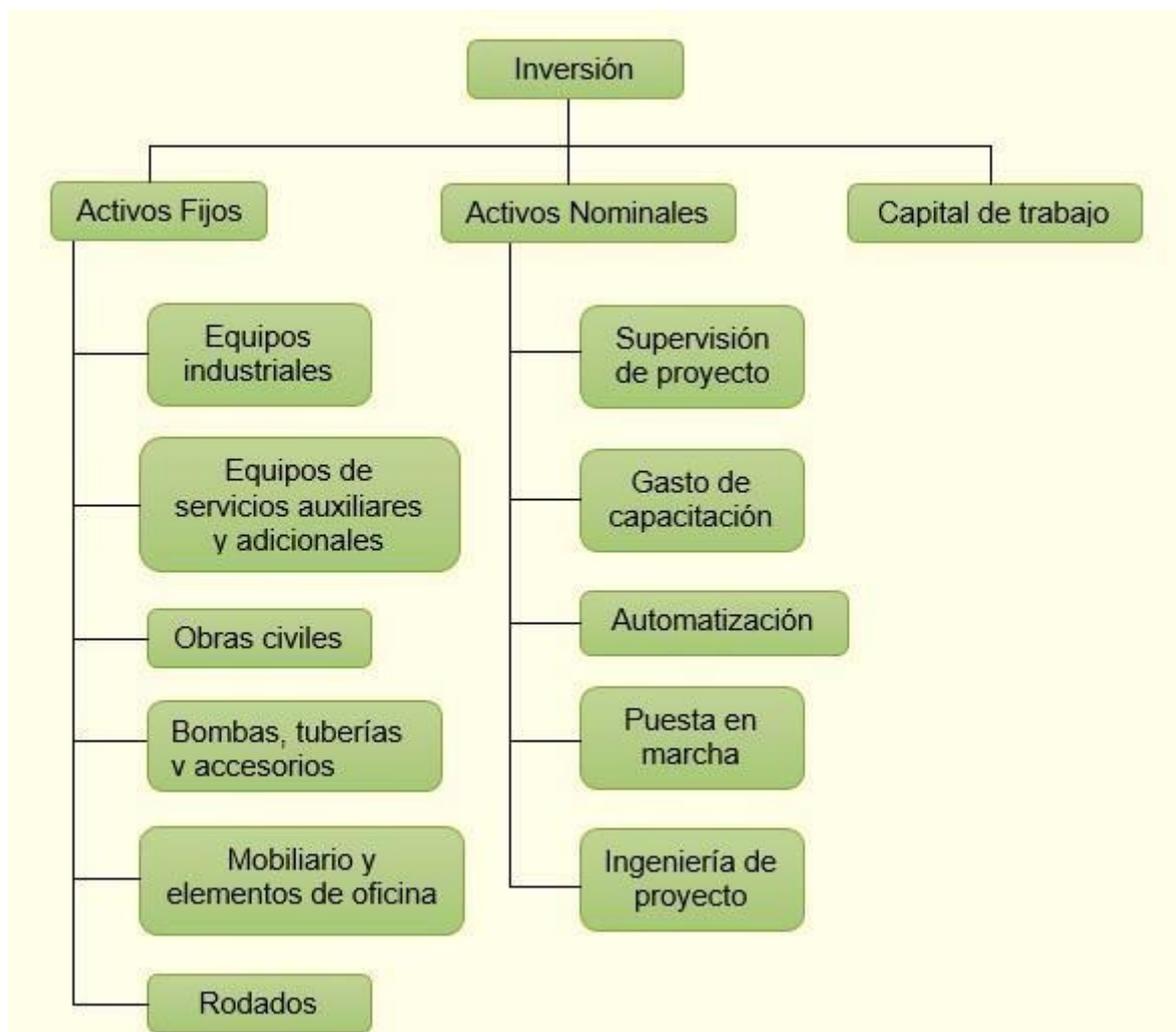


Figura 138-Categorización de la inversión inicial del proyecto

17.3.1. Activos fijos

Llamados también tangibles, son aquellos bienes de propiedad de la empresa, como terrenos, edificios, maquinarias, equipos, mobiliarios, vehículos de transporte, herramientas y otros. Se llaman fijos porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de ellos, sin que esto ocasione problemas en la actividad productiva.

Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso. En la determinación de los costos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 02/02/22 del Banco de la Nación Argentina fue de \$110,81.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21% de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50%, es decir, 10,5%.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor de un 1%.

Obras civiles

La planta de Biometano se ubica en la localidad de Justiniano Posse, provincia de Córdoba, el costo del terreno es USD 50 el m². Los costos de construcción son obtenidos de la página del colegio de

arquitectos de la provincia de Buenos Aires. En la tabla siguiente se pueden observar los valores obtenidos por edificio y el área de cada uno.

Tabla 161 Presupuesto de obras civiles.

Rubro	Costo [USD]
Terreno	279.092
Obras de infraestructura	
Área de producción	2.357
Instalaciones industriales	
Garita de seguridad	450
Recepción	10.800
Oficinas administrativas	19.200
Oficinas de panel de control	15.000
Sala de reuniones	7.000
Estacionamiento	350
Cocina y comedor	10.000
Baños y vestuarios	10.000
Instalaciones eléctricas	8.000
Calle de circulación interna	5.050
Subestación transformadora	17.100
Instalaciones de servicio de agua	2.000
Laboratorio	55.000
Taller de mantenimiento	9.600
Deposito	9.600
Total	179.050

Equipos industriales, auxiliares y accesorios

En esta sección se pueden ver todos los equipos que intervienen en la producción de Biometano, tanto de proceso, como de servicios auxiliares, accesorios y cañerías. Los precios fueron recopilados de las distintas empresas, fabricantes y distribuidores que se encuentran en nuestro país y otros del exterior como Duraplas SRL, ZORG BIOGAS, DROTEC, BRONNER GROW S.A, entre otros.

Se considera un costo de fletes de 1% del costo unitario del equipo, mientras que el IVA representa el 10,5% debido a que son bienes de capital, tabla 162. Los gastos de tuberías y accesorios se consideran un 2% del total de equipos.

Tabla 162. Costo de equipos industriales, auxiliares y accesorios.

Denominación Técnica	N° de unidades	Precio Total [USD]	Flete [USD]	Costo total + flete [USD]	IVA (10,5%)
S-01	1	8.000	80	8.080	848
S-02	1	3.000	30	3.030	318
M-01	1	2.000	20	2.020	212
ME	3	2.700	27	2.727	286
R-01	1	26.515	265	26.780	2.812
R-03	1	1.000	10	1.010	106
P-01	1	210	2	212	22
P-02	1	210	2	212	22
P-03	1	1.368	14	1.382	145
P-04	1	2.400	24	2.424	255
P-05	1	1.363	14	1.377	145
P-06	1	1.363	14	1.377	145
P-07	1	160	2	162	17
P-08	1	710	7	717	75
P-09	1	85	1	86	9
P-10	1	2.520	25	2.545	267
P-11	1	1.360	14	1.374	144
P-12	1	85	1	86	9
P-13	1	85	1	86	9
P-14	1	85	1	86	9
P-15	1	85	1	86	9
P-16	1	85	1	86	9
P-17	1	85	1	86	9
P-18	1	85	1	86	9
P-19	1	85	1	86	9
P-20	1	85	1	86	9
P-21	1	85	1	86	9
P-22	1	85	1	86	9
T-02	1	1.410	14	1.424	150
T-03	1	450	5	455	48
T-04	1	520	5	525	55
T-05	1	1.970	20	1.990	209
T-06	1	270	3	273	29
T-07	1	270	3	273	29
T-09	1	980	10	990	104
T-08	1	489	5	494	52
T-10	1	216	2	218	23
E-01	1	1.040	10	1.050	110
E-02	1	500	5	505	53
E-03	1	2.300	23	2.323	244
X-01	1	40	0	40	4
X-02	1	2.400	24	2.424	255
X-05	1	40	0	40	4
X-03	1	4.350	44	4.394	461
X-04	1	1.800	18	1.818	191
X-06	1	80	1	81	8
PM-01	1	17.000	170	17.170	1.803
FIL-01	1	17.980	180	18.160	1.907
S-04	1	700	7	707	74
T-01	1	50.000	500	50.500	5.303
S-03	1	20.000	200	20.200	2.121
C	2	2.000	20	2.020	212
CT-01	1	980	10	990	104
F-01	1	4.380	44	4.424	464
K-01	1	150	2	152	16
Accesorios y cañerías	1	5	0	5	1
T-11	1	0	0	0	0
L-01	1	750	8	758	80
TV-01	1	160	2	162	17
Total costo de equipos		189.129	1.891	191.020	20.057

Mobiliario y elementos de oficina

En esta sección se consideran todos aquellos elementos que van a estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo del mismo. El costo unitario de cada elemento abarca el flete.

Tabla 163 Costo de mobiliario y elementos de oficina.

Artículo	Unidades	Precio Unitario [USD]	Costo Total [USD]	IVA (21%)
Computadora	8	600	4.800	1.008
Proyector	1	118,50	118,50	24,88
Ventilador de techo	2	55,30	110,60	23,22
Aire acondicionado	6	284,40	1.706,40	358,40
Calefactor	7	126,40	884,80	185,80
Escritorio	17	31,60	537,20	112,81
Mesa de sala de conferencia	1	102,70	102,70	21,56
Mesa de comedor	5	110,6	553	116,13
Sillas	55	35,55	1955,25	410,60
Armario	5	51,35	256,75	53,92
Heladera	3	331,8	995,4	209,03
Cocina industrial	1	252,8	252,8	53,09
Microondas	4	142,2	568,8	119,45
Baños	4	79	316	66,36
Duchas	4	41,87	167,48	35,17
Lockers	30	17,12	650	136,5
Mesada para laboratorio	1	158	158	33,18
Banquetas	2	5,53	11,06	2,32
Televisor	1	276,5	276,5	58,06
Total			14.310,64	3.028,49

Rodados

Dentro de los rodados necesarios por la empresa, tanto sea para transporte de mercadería, reparación de tuberías, cambios de equipos, entre otros; se consideran 2 camionetas. En la Tabla la siguiente se adjuntan los montos.

Tabla 164: Costo de rodados

Artículo	Unidades	Precio Unitario [USD]	Costo total [USD]	IVA (10,5 %)
Camioneta	2	25.000	50.000	5.250
Costo total			50.000	5.250

Automatización

Los costos de este se consideran un 5% con respecto a los costos de equipos y accesorios. Representando el valor de USD 8.554.511.

Resumen de activos fijos

En la tabla siguiente, se adjunta el resumen de inversión en activos fijos.

Tabla 165: Resumen de activos fijos.

Activos Fijos		Costo [USD]
Obras civiles	Terreno e inmueble	279.092
	Infraestructura	2.357
	Instalaciones industriales y auxiliares	179.050
Equipos e instrumentos	Maquinaria y equipos	189.129
	Flete	1.891
	Automatización (% del total de equipos)	3.782,13
Otros gastos	Rodados	50.000
	Muebles y útiles	14.310
Total		719.611

17.3.2. Activos nominales

Los activos nominales o intangibles es el conjunto de bienes propiedad de la empresa, necesarios para su funcionamiento, y que incluyen: patentes de inversión, marcas, diseños comerciales, nombres comerciales, gastos preoperativos, de instalación y puesta en marcha, contrato de servicios, capacitaciones, etc. A continuación, se detallan los que se tienen en cuenta en este proyecto.

1. Capacitación

Cada empleado de la planta debe contar con la capacitación necesaria de acuerdo a su área, contar con el conocimiento y las herramientas requeridas para realizar un correcto trabajo. El primer año se realiza para todo el personal, mientras que luego solo los que se encuentran en la zona de producción. El costo es del 1% con respecto al total de inversiones fijas.

2. Ingeniería de proyecto

En cuanto a los gastos de planeación se considera el 5% de activos fijos. Los imprevistos son el 2% del total.

3. Seguros e impuestos

Para luego calcular la inversión es necesario sumar el valor fijo de seguro e impuestos iniciales. Este tipo de costos se considera el 1% del total de activos fijos.

4. Puesta en marcha

El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto, sumando un total de un 3%. El tiempo de puesta en marcha es de 7 días, contando con la calibración de equipos y puesta en régimen.

Resumen de activos nominales

Se puede ver a través de la siguiente tabla el resumen de esta inversión de activos nominales.

Tabla 166: Resumen de activos nominales.

Activo nominal	Estimador	Base de calculo	Importe (USD)
Investigación y estudios de ingeniería	2%	370.535	7.411
Capacitaciones	1%	370.535	3.705
Ingeniería de proyecto	5%	713.937	35.697
Planeación	2%	370.535	7.411
Gastos imprevistos	2%	189.129	3.783
Puesta en marcha	3%	5.750	173
Seguros e impuestos	1%	713.937	7.139
Total activos nominales			65.318

17.3.3. Capital de trabajo

Desde el punto de vista práctico, está representado por el capital adicional (distinto de la inversión de activo fijo y diferido) con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa; financiando la primera producción antes de que comience a generar ingresos.

Aunque el capital de trabajo también es una inversión inicial, tiene una diferencia con respecto a los anteriores activos nombrados, y radica en la naturaleza circulante. Mientras que la inversión fija y nominal pueden recuperarse mediante depreciación y amortización, la inversión de capital no puede recuperarse por este medio, la empresa resarcirá de él a corto plazo.

17.3.4. Inversión necesaria

Una vez que se cuenta con todos los datos anteriores, se puede sacar la inversión necesaria para iniciar el proyecto y comenzar con la actividad, en la siguiente tabla se observa. El capital se va a obtener a través de financiación externa.

Tabla 166: Inversión necesaria

Categoría	Costos [USD]
Activos Fijos	713.937
Activos Nominal	65.341
Capital de trabajo	17.298
IVA (21%)	123.927
IVA (10,50%)	19.859
Total	940.338

17.3 Costos totales de producción

Los costos de producción son los gastos requeridos para mantener un proyecto, la línea de proceso y equipos en funcionamiento. Se dividen de la siguiente manera:

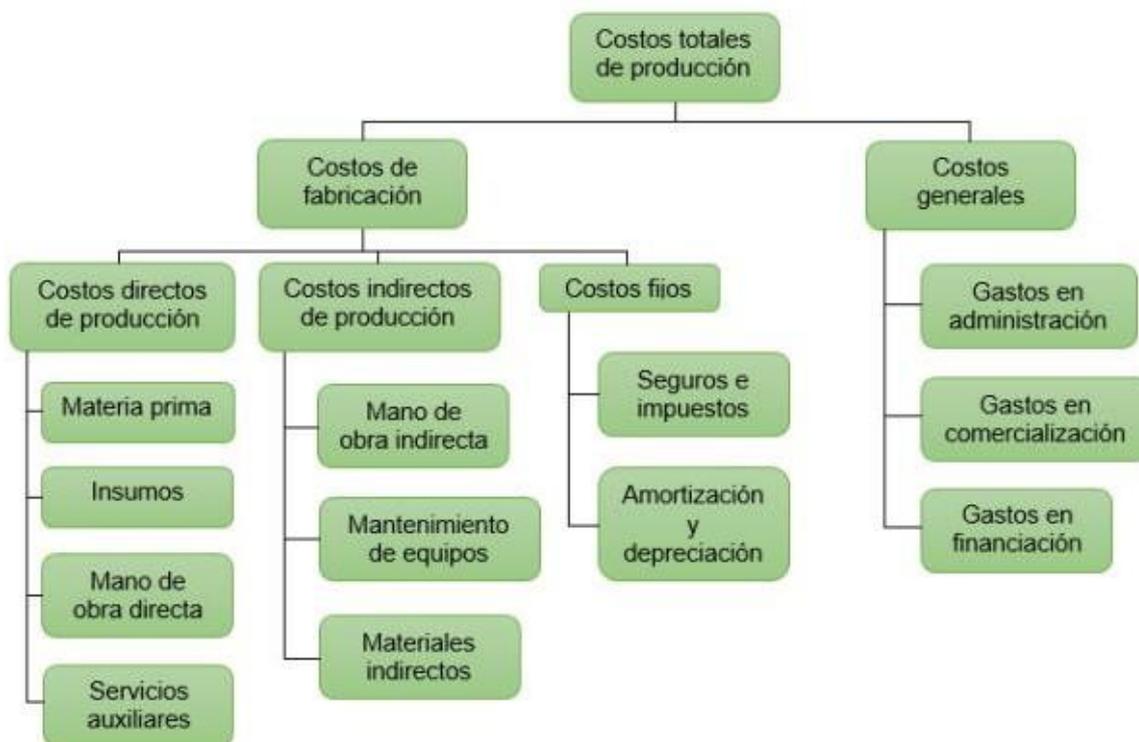


Figura 139: Costos totales de producción

17.3.1. Costos directos de producción

Son parte de los costos de fabricación, intervienen de manera directa en la producción de Biometano, afectando el precio final del mismo.

Dentro de ellos se puede ver la materia prima, insumos, mano de obra directa y servicios auxiliares.

Materia prima

Para la producción de Biometano se necesita FORSU, como materia prima. La FORSU, se obtiene de forma gratuita, de la misma empresa de tratamiento de RSU, como así también de dos pueblos cercanos. No existe costo por flete.

Tabla 167: Costos anuales de MP

Materia prima	Cantidad requerida [t]	Precio unitario [USD]	Flete [USD]	Costo total [USD]
FORSU	1.073	0	0	0
Total Materia prima			0	0

Insumos

Se cuenta con NaOH que se utiliza para mantener el pH en el Biofiltro.

Además, se utiliza CaCO₃, para el proceso de nitrificación, en el reactor aerobio R-03 y por último se tiene CaNO₃, como reserva por si no se genera lo suficiente en el R-03.

Tabla 168: Costos de insumos

Insumo	Cantidad requerida [kg]	Precio unitario [USD]	Costo total [USD]
NaOH	6.154	3,10	19.077
CaCO ₃	3.456.544	0,50	1.728.272
CaNO ₃	53.000	1,00	53.000
Total de insumos			1.800.349

Mano de obra directa

Incluye aquellas personas que trabajan en relación directa con el proceso de producción, Tabla . El importe que se paga por hora se establece en base al Convenio Colectivo de Trabajo N°123/90. El valor del costo total anual de MO directa incluye las cargas sociales, consideradas como un 45% del valor nominal y el aguinaldo.

Tabla 169: Costo total de mano de obra directa

Área/sector	Cargo	Cantidad de personal	Jornal por hora [USD]	Aguinaldo [USD]	Cargas sociales [USD]	Costo anual [USD]
Producción	Supervisor de planta	1	3,56	866,27	5.067,66	16.329,13
Producción	Panelista	8	3,03	5.905,99	31.892,36	108.670,25
Producción	Operario Reactores	4	3,29	3.199,05	17.274,90	58.862,61
Producción	Operario FIL-01 y PSA	2	3,03	1.476,50	7.973,09	27.167,56
Acondicionamiento	Operario X-02	1	2,80	2.726,01	14.720,48	50.158,67
Acondicionamiento	Operario de carga	1	2,80	681,50	3.986,80	12.846,34
Total Mano de obra directa						274.035

Servicios auxiliares

Dentro de este ítem se encuentra el gas, la electricidad y el combustible. El gas es distribuido por la empresa ECOGAS Argentina, el consumo se calcula en función de la tarifa y se toma constante en la semana. La electricidad suministrada por EPEC, y por último el combustible es provisto por la empresa YPF, se aplican las tarifas correspondientes que se adjuntan en la siguiente tabla.

Tabla 170: Costos anuales de servicios auxiliares

Servicios auxiliares	Unidad	Cantidad requerida (l)	Precio unitario [USD/unidad]	Costo total [USD]
Gas	m ³	92330,4	0,0793	9.233,04
Electricidad	kW/h	957402,3	0,1	75.922,00
Combustible	l	20.440,00	0,86	17.578,40
Total costo de servicios auxiliares				102.733

Resumen de costos directos de producción

A continuación, en la siguiente tabla se resumen los costos directos referidos a la producción de Biometano, en el transcurso de un año.

Tabla 171: Resumen de costos directos

Costos directos de producción	Costo total [USD]
Materias primas	0
Insumos	1.800.349
Mano de obra directa	274.035
Servicios auxiliares	102.733
Total	2.084,66

17.3.2. Costos indirectos de producción

Son aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Costos que, si bien no se pueden repercutir ni medir de forma proporcional al producto final, son igualmente necesarios para el correcto funcionamiento de la empresa.

Mano de obra indirecta

Se puede clasificar en dos categorías: la MO indirecta afectada a producción y personal administrativo y jerárquico. En las Tabla 172 y Tabla 173 se puede observar los distintos costos. Mientras que en la Tabla el valor total referido a ello.

Tabla 172: Afectado a Producción.

Área/Sector	Cargo	Cantidad de personal	Rem. Mensual [USD]	Rem Anual [USD]	Aguinaldo [USD]	Cargas Sociales [USD]	Costo anual [USD]
Mantenimiento	Operario	4	759,12	36.438	3.036,5	17.763,6	57.238,1
Logística	Encargado	1	665,29	7.983,5	665,3	3.891,9	12.540,7
Calidad	I y D	1	759,12	9.109,5	759,1	4.440,9	14.309,5
Calidad	Analista de laboratorio	1	759,12	9.109,5	759,1	4.440,9	14.309,5
Total Mano de obra indirecta							98.397,8

Tabla 173: Costos de personal administrativo y jerárquico.

Área/Sector	Cargo	Cantidad de personal	Rem. Mensual [USD]	Rem Anual [USD]	Aguinaldo [USD]	Cargas Sociales [USD]	Costo anual [USD]
General	Gerente	1	1100	13.200,00	1.100,00	6.435,00	20.735,00
Calidad	Jefatura	1	853,514	10.242,17	853,51	4.993,06	16.088,74
Producción	Jefatura	1	853,514	10.242,17	853,51	4.993,06	16.088,74
Mantenimiento	Jefatura	1	853,514	10.242,17	853,51	4.993,06	16.088,74
Producción	Jefatura	1	853,514	10.242,17	853,51	4.993,06	16.088,74
Mantenimiento	Jefatura	1	853,514	10.242,17	853,51	4.993,06	16.088,74
Total personal administrativo y jerárquico							69.001,22

Tabla 174: Costo total de mano de obra indirecta.

Total de mano de obra indirecta [USD]	167.399
--	----------------

17.3.3. Costos fijos indirectos

Se incluyen costos como: administración, comercialización, amortización, financiación y depreciación de los activos e impuestos.

Amortización y depreciaciones

La depreciación tiene la misma connotación que amortización, el primero se aplica a los activos fijos, ya que con el uso de estos pierden valor a lo largo del tiempo; en cambio, la segunda se emplea a los activos diferidos, debido a que no disminuye el precio con los años, por lo que el término amortización significa el cargo anual que se hace para recuperar la inversión.

Esto puede deberse a tres razones:

- Razón física: desgaste con el uso.
- Razón funcional: al paso del tiempo.
- Vejez.

Los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión. Según el decreto N° 873/1997, la vida útil de los bienes es la siguiente:

- Edificios: 50 años.
- Instalaciones: 10 años.
- Muebles y útiles: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 10 años.
- Rodados: 5 años.

Fijada la vida útil de cada rubro, se expresan en la siguiente tabla.

Tabla 175: Amortización/Depreciación anual

Categoría	Inversión realizada [USD]	Tasa (%)	Depreciación / Amortización anual [USD]
Terreno	279.092	3,33%	9.303
Infraestructura	2.357	10%	236
Instalaciones industriales y auxiliares	179.05	10%	17.905
Maquinarias y equipos industriales	189.13	5%	9.456
Rodados	50.000	20%	10.000
Muebles y útiles	14.310	20%	2.862
Total			49.765

17.4. Ingreso por venta

Es el importe de dinero percibido por las ventas del producto en cuestión. Este monto se considera constante a lo largo de los 10 años, debido a que en este período no varía las cantidades producidas ni vendidas. Se pueden observar estos valores en la siguiente tabla.

Tabla 176: Ingreso anual por venta de la planta de Biometano

Producto	Cantidad [t]	Precio unitario [USD/t]	Ingreso anual [USD]
Biometano	641	272,73	174.949
CO ₂	947	25,00	23.670
Biofertilizante	3.951	1.000,00	4.149.349
Total de ingreso por venta			4.149,35

17.5. Financiación del proyecto

Una empresa está financiada cuando ha pedido capital en préstamos para cubrir cualquiera de sus necesidades. En este proyecto de producción de Biometano, el capital que se dispone para la inversión es aportado por un banco con una TNA de 6% y sistema de amortización francés.

El sistema de amortización francés es aquel mediante el cual el prestatario se compromete a pagar unas cuotas periódicas constantes, que incluyen capital e intereses. Estas cuotas se calculan siguiendo una regla financiera.

Mediante este procedimiento de cálculo, se obtiene una cuota de amortización constante en cada período. De esta forma, siempre se paga la misma cantidad, si el préstamo se concedió a un tipo de interés fijo. Existe una variante cuando el interés es variable, referenciado con un indicador, que normalmente es el interés interbancario de referencia de cada país. En este caso, las cuotas son constantes en los períodos de tiempo en que este indicador no varía.

El cálculo de la cuota se realiza con la siguiente ecuación.

$$\text{Valor de la cuota} = \frac{\frac{\text{TNA}}{100}}{1 - \left(1 + \frac{\text{TNA}}{100}\right)^{-n}} \cdot \text{INV}$$

Donde:

- n: número de cuotas (10 años)
- INV: monto de la inversión [\\$]

En la siguiente tabla se puede observar el modo de financiamiento acordado, junto con la inversión necesaria y demás condiciones, arrojando el valor dado por la ecuación anterior.

Tabla 177: Resumen financiero

Modo de financiamiento	
Monto inversión	940.460,94
TNA	6
N° de cuotas	10
Valor de cuota	127.779
IVA	21
Tasa de seguro	0,15
Sistema utilizado	Francés

Las cuotas a cancelar en los 10 años se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 178-Pagos anuales del Sistema Francés

Cuota	Capital	Interés	IVA	Seguro	Cuota
1	7.1350,85	56.427,66	11.849,81	1.410,69	141.039,01
2	7.5631,90	52.146,61	10.950,79	1.303,67	140.032,96
3	80.169,82	47.608,69	9.997,83	1.190,22	138.966,55
4	84.980,01	42.798,50	8.987,69	1.069,96	137.836,16
5	90.078,81	37.699,70	7.916,94	942,49	136.637,94
6	95.483,53	32.294,97	6.781,94	807,37	135.367,83
7	101.212,55	26.565,96	5.578,85	664,15	134.021,51
8	107.285,30	20.493,21	4.303,57	512,33	132.594,41
9	113.722,42	14.056,09	2.951,78	351,40	131.081,69
10	120.545,76	7.232,75	1.518,88	180,82	129.478,20
Total		337.324,14	70.838,07	8.433,10	1.357.056,25

17.6. Evaluación económica

El estudio de evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Una vez concentrada toda la información se aplican métodos de estimación que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil.

Dentro de los índices de estimación de rentabilidad se puede encontrar los tres más usados que son:

- VAN: Valor Actual Neto.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- PRI: Período de Recupero de la Inversión.

Primeramente, se va a evaluar el Estado de Resultados de dicho proyecto, luego se procede a calcular los indicadores.

17.6.1. Estado de resultados

El estado de resultados, también llamada cuenta de resultados o cuenta de pérdidas y ganancias, recoge los ingresos y gastos que ha tenido una empresa durante un período de tiempo.

Nos indica como los ingresos se transforman en beneficios según se le restan los gastos. Ayuda a tener una visión rápida de cuáles han sido los gastos más importantes para la empresa. De esta manera se puede apreciar donde sería más fácil recortar para ahorrar costes innecesarios.

Los ingresos son las cantidades directas de dinero que ha obtenido la empresa por la venta de sus productos o servicios, mientras que los gastos son las cuantías de dinero en las que ha tenido que incurrir la empresa para conseguir esa entrada de dinero.

Se deben tener en cuenta una serie de conceptos antes de proceder:

- Ingresos por ventas: se entiende por los importes de facturación recibidos por la venta de bienes en un período dado.
- Costos de producción de lo vendido: cuando una empresa fabrica un bien, el proceso productivo genera unos costes conforme este avanza. Éstos se componen principalmente de la mano de obra atribuible a la producción, el costo de los materiales empleados y de los gastos generales que genera el proceso productivo. Dicho de otra manera, es lo que le cuesta a la empresa producir ese bien.

- Resultado operativo: diferencia entre ingresos por ventas y coste de ventas, indicando que gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
- Gastos administrativos: son los que no se pueden vincular directamente con la actividad económica que desarrolla la empresa, dentro de los procesos de fabricación, producción o ventas. Dicho de otra manera, son los gastos que tiene una sociedad debido a la gestión realizada para el buen progreso de su actividad económica.
- Gastos comerciales: son aquellos que posibilitan el proceso de ventas de los bienes o servicios de una empresa a sus clientes. Es decir, surgen como consecuencia de colocar los mismos en el mercado.
- Gastos financieros: todos aquellos en los que incide una empresa como consecuencia del uso de capitales puestos a su disposición. Toda empresa que acuda a la financiación ajena, como es nuestro caso, por entidades bancarias tendrá estas partidas en sus resultados.
- Depreciaciones/amortizaciones: la depreciación tiene la misma connotación que amortización, el primero se aplica a los activos fijos, ya que con el uso de estos pierden valor a lo largo del tiempo; en cambio, la segunda se emplea a los activos diferidos, debido a que no disminuye el precio con los años, por lo que el término amortización significa el cargo anual que se hace para recuperar la inversión.
- Resultado sin impuestos: efecto de sustraerle al resultado operativo las depreciaciones, gastos administrativos, de comercialización y de financiación.
- Impuesto a las ganancias: se considera el 35% de la utilidad antes del impuesto.
- Flujo neto de efectivo: es la diferencia matemática entre los ingresos y gastos en efectivo de cada período. El flujo de efectivo es el informe financiero, pero el flujo neto es la cantidad de dinero que resulta al final de un período determinado.

En las tabla 179, tabla 180 y tabla 181 se detallan los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto.

Tabla 179: Estado de resultados año 1 al 3.

Año	AÑO I	AÑO II	AÑO III
Ingresos por venta	3.470.102	3.524.566	3.604.645
Costos de producción de lo vendido	2.119.345	2.114.903	2.151.631
RESULTADO OPERATIVO	1.350.757	1.409.663	1.453.014
Gastos administrativos	10.597	10.575	10.758
Gastos comerciales	2.119	2.115	2.152
Gastos financieros	141.039	140.033	138.967
Depreciación/amortización	49.762	49.762	49.762
RESULTADO SIN IMPUESTOS	1.147.240	1.207.179	1.251.376
Depreciación/amortización	49.762	49.762	49.762
Impuesto a las ganancias	418.951	439.929	455.398
FLUJO NETO DE EFECTIVO	778.051	817.012	845.740

Tabla 180: Estado de resultado año 4 al 6

Año	AÑO IV	AÑO V	AÑO VI
Ingresos por venta	3.681.554	3.748.826	3.825.735
Costos de producción de lo vendido	2.186.905	2.217.759	2.253.033
RESULTADO OPERATIVO	1.494.649	1.531.067	1.572.702
Gastos administrativos	10.935	11.089	11.265
Gastos comerciales	2.187	2.218	2.253
Gastos financieros	137.836	136.638	135.368
Depreciación/amortización	49.762	49.762	49.762
RESULTADO SIN IMPUESTOS	1.293.930	1.331.360	1.374.054
Depreciación/amortización	49.762	49.762	49.762
Impuesto a las ganancias	470.292	483.393	498.336
FLUJO NETO DE EFECTIVO	873.400	897.730	925.480

Tabla 181: Estado de resultados año 7 al 10.

Año	AÑO VII	AÑO VIII	AÑO IX	AÑO X
Ingresos por venta	3.893.006	3.981.106	4.058.015	4.149.349
Costos de producción de lo vendido	2.283.887	2.324.293	2.359.567	2.401.457
RESULTADO OPERATIVO	1.609.120	1.656.813	1.698.448	1.747.892
Gastos administrativos	11.419	11.621	11.798	12.007
Gastos comerciales	2.284	2.324	2.360	2.401
Gastos financieros	134.022	132.594	131.082	129.478
Depreciación/ amortización	49.762	49.762	49.762	49.762
RESULTADO SIN IMPUESTOS	1.411.633	1.460.510	1.503.447	1.554.243
Depreciación/ amortización	49.762	49.762	49.762	49.762
Impuesto a las ganancias	511.488	528.595	543.623	561.402
FLUJO NETO DE EFECTIVO	960.702	992.717	1.020.838	1.054.109

17.6.2. Indicadores

VAN: Valor Actual Neto

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder.

La rentabilidad mínima que un inversionista espera obtener de una inversión es la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento), en este caso particular se toma el 35%, correspondiente a la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TMAR)^n}$$

Donde:

- I_0 : inversión inicial en $t = 0$.
- n : número de períodos de tiempo.

- FNE_n : flujo de dinero en cada período.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad como sigue:

- $VAN > 0$, el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generara beneficios.
- $VAN = 0$, el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$, generará pérdidas por lo que tendrá que ser rechazado dicho propósito.

Tabla 182-Valor actual neto

Indicador	Valor (USD)
VAN	10.304.091

Como se observa en la tabla anterior el valor es positivo por lo cual el proyecto es viable.

TIR: Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

- I_0 : inversión inicial en $t = 0$.
- n : número de períodos de tiempo.
- FNE_n : flujo de dinero en cada período.

El criterio de selección será el siguiente:

- $TIR > TMAR$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que se obtiene es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida.
- $TIR = TMAR$, se está en una situación similar como cuando $VAN = 0$. La inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- $TIR < TMAR$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le pide a la inversión.

En la tabla siguiente se observa que el valor obtenido es mayor a la TMAR propuesta por el banco, por ende, es aceptable, alcanzando una rentabilidad superior.

Tabla 183-Tasa interna de retorno

Indicador	Valor
TIR	87%

PRI: Período de Recupero de la Inversión realizada.

Es un indicador que mide en cuanto tiempo se recuperará el total del dinero invertido a valor presente. Puede revelar con precisión, en años, meses, días, la fecha en la cual será cubierta.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

- a: año inmediato anterior en que se recupera la inversión.
- b: inversión inicial.
- c: flujo de efectivo acumulado en el año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.
- d: flujo de efectivo en el año que se recupera la inversión.

En la siguiente tabla se observa que la inversión se recupera en 1,23 años.

Tabla 184. Período de Recupero de la Inversión realizada

Indicador	Valor
PRI	1,20

Relación beneficio/costo

Es el cociente entre el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) y el valor actualizado de los costos (egresos).

De acuerdo con este criterio, la inversión en un proyecto productivo es aceptable si el valor de la relación beneficio/costo es mayor o igual que uno. En la siguiente tabla se muestra que el resultado obtenido es mayor a 1.

Tabla 185: Beneficio/Costo

Indicador	Valor
Beneficio/costo	1,73

17.6.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la VAN Y el TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con esto, se analiza la variación de la VAN con la desviación del precio de venta, costos de MO y materia prima; siendo las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la VAN y TIR con los cambios de las variables antes mencionadas.

Variación del TIR con respecto a la variación de Precio MP

En la Figura 140 se observa el análisis de sensibilidad del indicador TIR según cambian los precios de las materias primas utilizadas en el proceso. Se visualiza que aun con aumentos hasta del 40%, el TIR sigue dando en valores aceptables.

Análisis de sensibilidad

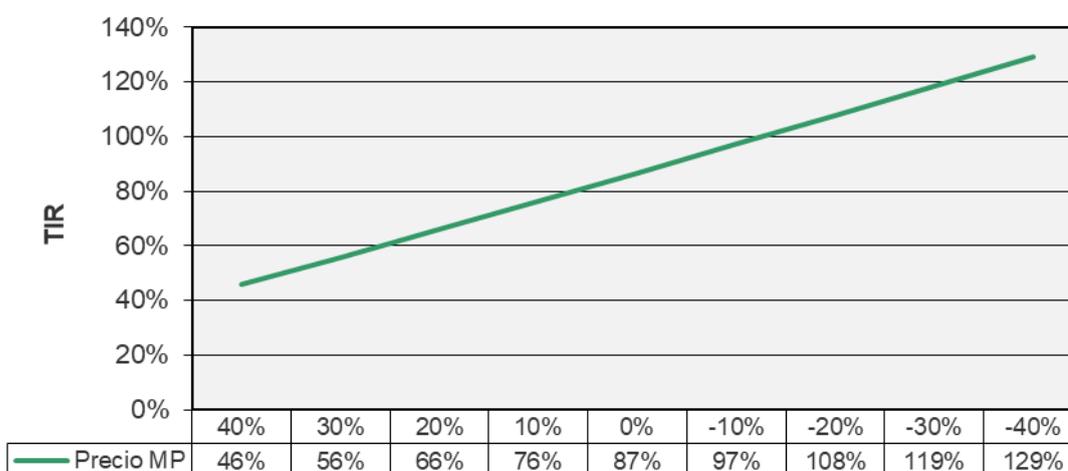


Figura 140. Variación de TIR según el precio de MP

Variación de la TIR con la mano de obra.

En la Figura 141 se observa el análisis de sensibilidad del indicador TIR según varía el valor de la mano de obra. Al igual que el anterior, aun con aumentos hasta del 40%, el TIR sigue dando en valores aceptables.

Análisis de sensibilidad

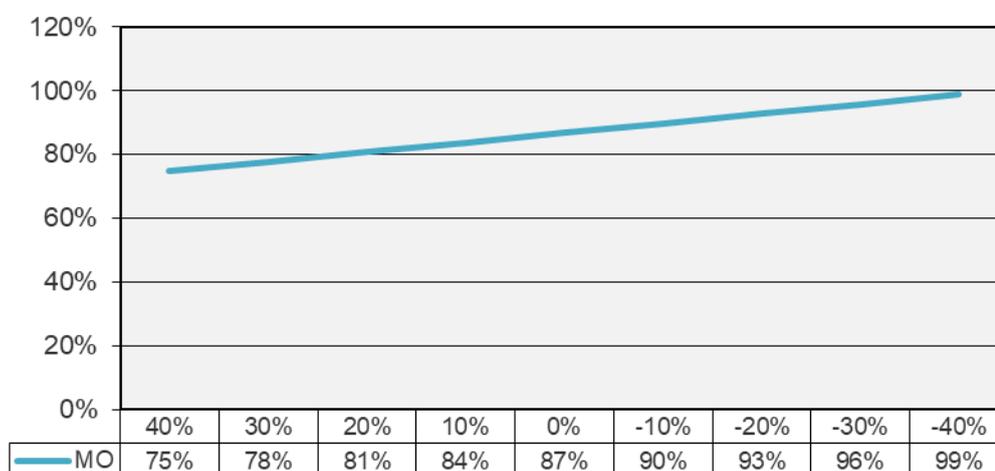


Figura 141. Variación de TIR según el valor de la MO

Variación de la TIR con el precio de venta de productos finales

En la Figura 142 se observa el análisis de sensibilidad del indicador TIR según varía el precio de venta de los productos finales. En este caso, cuando el precio de venta disminuye el 40%, el TIR que se obtiene ya no se encuentra en niveles aceptables.

Análisis de sensibilidad

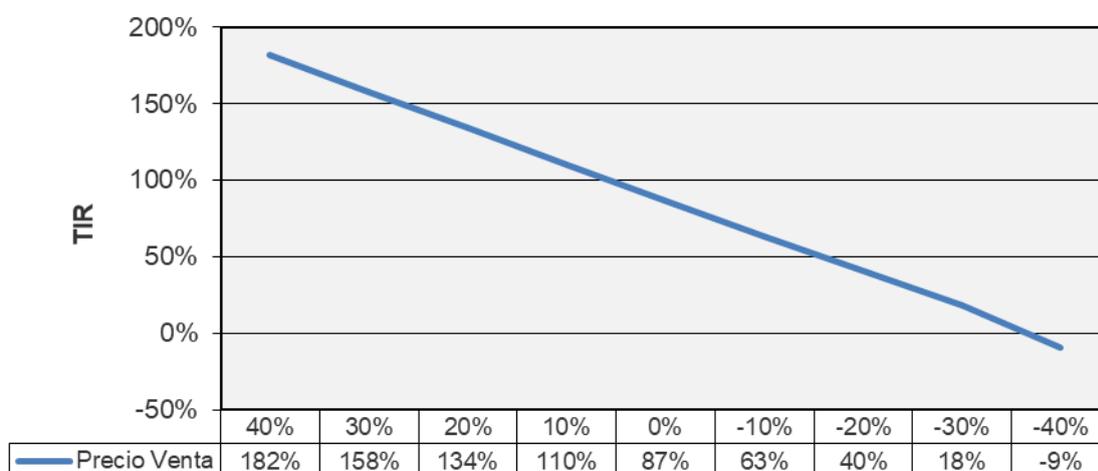


Figura 142. Variación de TIR según el precio de venta

Variación de la VAN con respecto a la variación de Precio MP.

En la Figura 143 se observa el análisis de sensibilidad del indicador VAN según varía el valor de las materias primas utilizadas en el proceso. Al igual que en el análisis del TIR, aun con aumentos hasta del 40%, la VAN sigue dando en valores aceptables.

Análisis de sensibilidad

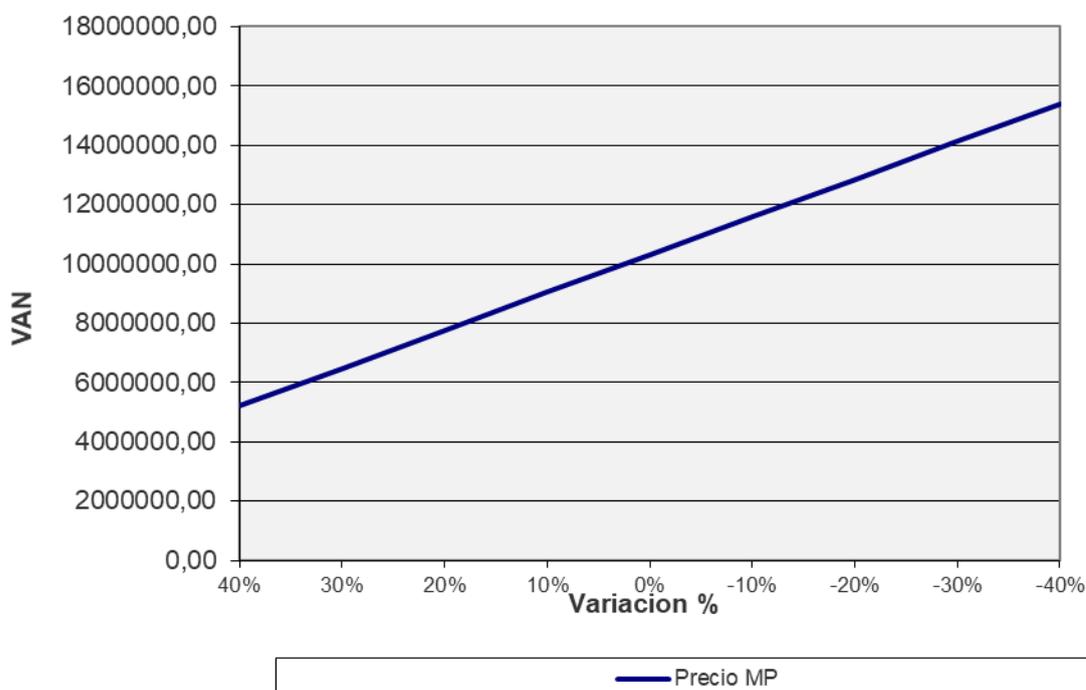


Figura 143. Variación de VAN según el valor de la MP

Variación de la VAN con la mano de obra.

En la Figura 144 se observa el análisis de sensibilidad del indicador VAN según varía el valor de la Mano de obra. Al igual que en el análisis del TIR, aun con aumentos hasta del 40%, la VAN sigue dando en valores aceptables.

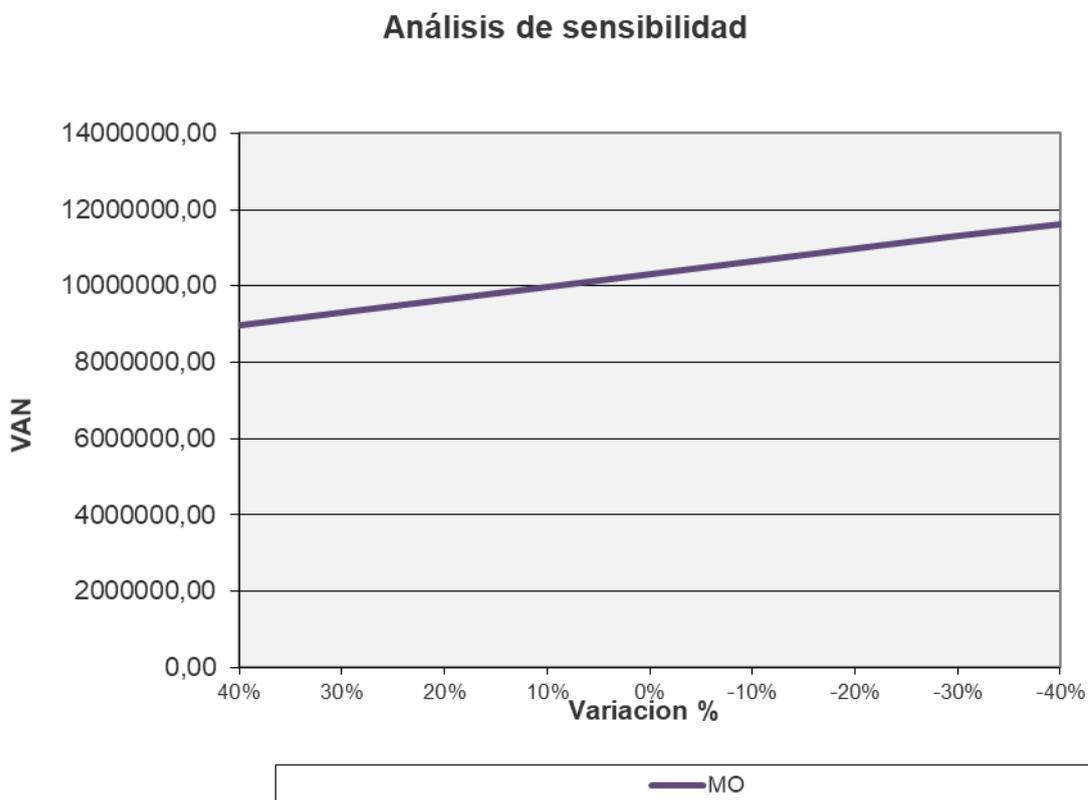


Figura 144. Variación de VAN según el valor de la MO

Variación de la VAN con el precio de venta de productos finales

En la Figura 145 se observa el análisis de sensibilidad del indicador VAN según varía el precio de venta de los productos. Al igual que en el análisis del TIR, cuando el precio de venta disminuye el 40%, el TIR que se obtiene ya no se encuentra en niveles aceptables.

Análisis de sensibilidad

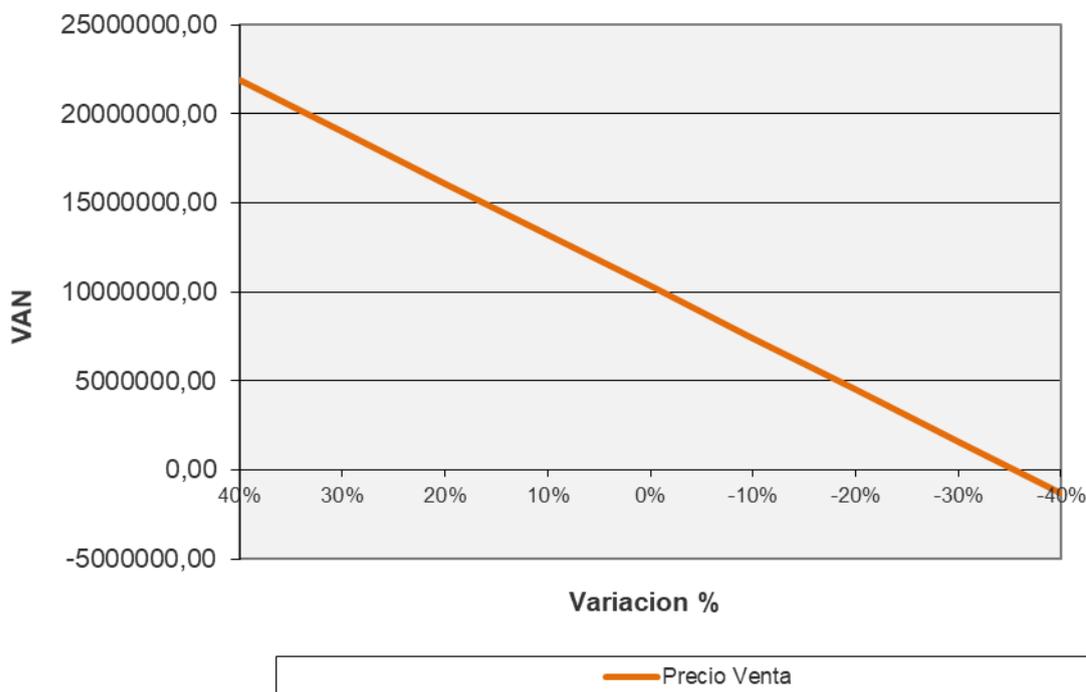


Figura 145. Variación de VAN según el precio de venta

17.7. Conclusión del estudio económico financiero

El análisis económico financiero para la producción de Biometano a partir de FORSU, requiere una inversión inicial U\$ 941.811, los cuales son financiados a través de un crédito, con una tasa nominal anual fija del 6% y en un período de pago de 10 años.

El proyecto se considera viable, es decir, es rentable y genera ganancias. La variable más significativa que afecta al proceso es el precio de venta, el cual debería aumentar el 40%, mientras los demás valores sigan estables, para que la empresa genere pérdidas. Dentro de los productos obtenidos, la venta del biofertilizante sólido es el que representa la mayor parte de las ganancias, por lo que resulta imprescindible su obtención para la rentabilidad de la empresa.

Además, el beneficio/costo es mayor a 1, resultando al igual que el TIR y el VAN, aceptables. Mientras que el periodo de recupero es igual a 1,20 años.

18. Conclusión

Una vez concluido el proyecto, se puede decir que se lograron los objetivos planteados inicialmente, ya que se demostró la factibilidad de la producción de biometano a partir de FORSU, fueron diseñados los equipos y las instalaciones necesarias para llevarlo a cabo y se logró una disposición final a un residuo que genera grandes problemas en la actualidad. Además, se conformó un circuito integrado, en el cual no se generan ningún de tipo de residuos ni efluentes, ya que se alcanza el correcto aprovechamiento de los mismos.

Teniendo en cuenta el estudio del mercado, se concluye que la generación de RSU a lo largo de los años es cada vez mayor debido al aumento de la población y ocasionando grandes problemas ambientales y saturación del sistema de disposición final. A su vez, los productos obtenidos cuentan con posibilidad de comercialización, ya que el biometano que se obtiene posee una alta capacidad energética pudiéndose distribuir en estaciones de GNC; el biofertilizante tiene cantidades significativas de nutrientes y se garantiza su inocuidad, lo que lo hace aplicable en la vasta agricultura de la zona; por otro lado, el dióxido de carbono es vendido, a un bajo costo, a una empresa que se encarga de su purificación; por último, los efluentes líquidos obtenidos, son tratados y utilizados para riego.

En lo que respecta a la selección del proceso, se eligieron tecnologías existentes, con condiciones de proceso conocidas, lo cual facilitó la comprensión de estas, sin necesidad de tener que analizar datos a escala piloto.

Por último, como se analizó en el capítulo económico financiero, los resultados obtenidos fueron favorables, ya que los indicadores, TIR, VAN y PRI, demuestran que es conveniente invertir en este proyecto. De esta manera, no solo se soluciona un problema ambiental, sino que también se generan ganancias.

19. Bibliografía

- (Amaya, 2017). Guía completa de GLP y GNC/GNL. Obtenido de <https://www.autonocion.com/guia-completa-del-glp-gnc-y-gnl-que-es-uso-conversion-del-motor-ventajas-e-inconvenientes/>
- (Egozcue, 2020). Scania presentó sus camiones a GNC /GNL en Argentina. Noticias de camiones en Argentina.
- (Ministerio de Agroindustria, 2016). Perspectivas de Mercado de fertilizantes para la cosecha 2016/17 en Argentina.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Agricultura), F. (. (2019). Guía teorica-practica sobre biogas y biodigestores. Buenos Aires: <http://www.fao.org/publications/es>.
- Banco mundial diagnóstico de la gestión integral de RSU en Argentina. (2015).
- Banco mundial diagnóstico de la gestión integral de RSU en Argentina. (2015).
- Banco Mundial. (06 de marzo de 2006). Convivir con basura: el futuro que no queremos. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/06/convivir-con-basura-el-futuro-que-no-queremos>
- Boletín Oficial del Estado. (2013). Calidades y Balances de Biogás.
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2020).
- Burgos. (2013). Estudio de la viabilidad técnico-económica de la tecnología de membranas para el enriquecimiento de biogás procedente de la digestión de fangos de depuración de aguas residuales.
- Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales. En IWA.
- CARMONA, D. A. (Julio de 2015). Diseño de un biofiltro percolador anóxico para la desulfuración de biogás. Cádiz, España.
- Carrera. (2011).
- Cooperativa Agropecuaria "Unión" de Justiniano Posse Limitada. (2011). Carta de Presentación del Quinto Balance Social Cooperativo de la Cooperativa Agropecuaria "Unión" de Justiniano Posse Limitada.

- Cuesta López, J. (2015). Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red. Leganés.
- Cuesta López, J. (2015). Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red. Leganés.
- Dar S.A., K. R. (2008). Competition and coexistence of sulfate-reducing bacteria, acetogens and methanogens in a lab-scale anaerobic bioreactor as affected by changing substrate to sulfate ratio.
- Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia, Universidad Simón Bolívar. (2012). Selección y diseño de un esquema de separación co2.
- Dr. Vazquez, F. (s.f.). Lagunas de Estabilización.
- El Cronista. (2021). Tarifa del gas: preparan un aumento del 7% tras el cortocircuito eléctrico.
- El Diario. (2016). Cargamentos de GNL llegan a la Argentina procedentes de 4 países.
- El Estacionero. (2020). Córdoba es la ciudad con más estaciones de GNC de Argentina.
- El Estacionero. (2020). Córdoba es la ciudad con más estaciones de GNC de Argentina.
- El Litoral. (2020). El consumo de fertilizante se incrementó un 21% en todo el país.
- ENARGAS. (2009). Condiciones y desarrollo de biometano .
- ENARGAS. (2019). Obtenido de <https://www.enargas.gob.ar/>
- ENARGAS. (2021).
- Energy Technology- Environmental Technology- Manufacturing. (10 de Marzo de 2021). Soluciones tecnológicas para Tratamiento de Digestatos.
- Fertilizar Asociación Civil. (2013).
- García Sanchez. (2016). Producción de biometano a partir de biogás de vertedero.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- García, H. A., López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Mexico: IWA Publishing.
- GFL. (2021). GFL. Obtenido de <https://greenfinancelac.org/es/recursos/novedades/bonos-verdes-en-argentina/>
- Haandel y Lubbe. (2007).
- HORIZONTE A. (2018). Obtenido de <https://horizonteadigital.com/fertilizantes-en-argentina-analisis-del-consumo-por-andres-a-grasso-y-maria-fernanda-gonzalez-sanjuan/>
- Ingmecanica. (2021). Obtenido de Calculo y diseño de cintas transportadoras: <https://ingmecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>

- Instituto Argentino del petróleo y del gas. (2021).
- INTA . (2011). Manual para la producción de Biogas. Castelar.
- INTA, I. N. (2020). Feertilizar asociacion civil. Obtenido de <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/01/04-Fertilizantes-para-Fertirriego-Ricardo-Melgar.pdf>
- interior, L. v. (07 de 10 de 2012). ASOCIACION PARA EL ESTUDIO DE RESIDUOS SOLIDOS . Obtenido de <http://ars.org.ar/noticias-nacionales/cordoba-treinta-municipios-ya-venden-su-basura/>
- iprofesional. (2021). Obtenido de <https://www.iprofesional.com/finanzas/333417-que-son-los-bonos-verdes-y-cual-es-la-ganancia-que-generan>
- Jade Latargere, (. (s.f.). Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/laguna-de-estabilizaci%C3%B3n-justinianoposse>.
- justinianoposse. (2021). Obtenido de <https://justinianoposse.gob.ar/>
- Krajewski, Lee y Ritzman Larry. (2013- 8va edición). Administración de las organizaciones.
- L. Corrales, D. Antolinez Romero, J. Bohórquez Masías, A. Corredor Vargas. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta.
- La Nación. (2016). Radiografía del gas en la Argentina: de dónde viene, qué cantidad y cuánto se gasta.
- Legislatura de la Provincia de Córdoba. (2020). Ley de Promoción y Desarrollo para la Producción y Consumo de Biocombustibles y Bioenergía.
- Lopez, J. C. (2015). Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red. Laganés, España.
- M. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, P. Achondo. (2002). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta .
- Martin Sprocket & Gear. (s.f.). Componentes y Accesorios para manejo de materiales.
- Martinez. (2019).
- McCabe, W. L. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill Interamericana.
- Mccabe. (1998).
- Metcalf y Eddy, Mc. Graw-Hill. (2008).
- Ministerio de Agroindustria. (2019).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Gestión de residuos sólidos urbanos. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu>
- Ministerio de Energía de Chile. (2011). Obtenido de <https://issuu.com/gobiernodechile/docs/energia>
- Ministerio del Interior, Obras públicas y Vivienda. (2017). Plan Estratégico Territorial de JUSTINIANO POSSE.
- MSc. Lissethy Hernández-Nazario, MSc. Mabelin Benítez-Fonseca, Ing. Juan M. Bermúdez-Torres . (2018). Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba.
- Observatorio del Reciclaje. (2019).
- Ocon Garcia, Joaquin; Tojo Barreiro Gabriel. (s.f.). Problemas de ingenieria quimica, operacione basicas.
- Organic Waste System. (2010). La tecnología Dranco.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2020). Análisis comparado de condiciones de desarrollo del biometano .

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2020). Factibilidad de la incorporación de biometano en la red de gas natural troncal y en las redes de distribución en localidades aisladas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Guía teórica- práctica sobre el Biogás y Biodigestores. 12.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Relevamiento Nacional de Biodigestores.
- Perdigón, L. A. (2014). Viabilidad técnica para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos- FORSU. Bogotá, Colombia.
- Perry tomo 2 sexta edición . (1992).
- Perry, R. (Sexta edición). Manual del ingeniero químico.
- Producción de biometano a partir de biogás de vertedero. (s.f.). Producción de biometano a partir de biogás de vertedero.
- República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional. (2018). Marco Normativo para la Producción, Registro y Producción.
- Reynoso. (2017). Biodigestión anaeróbica: una alternativa para la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Rodríguez Méndez, Manuel y Cárcel Carrasco, Francisco Javier. (2013). Consideraciones para el diseño de laboratorios en la industria química. Revista de investigación 3 ciencias.
- SAESA. (2020).
- Sala, I. (2020). Un Aconcagua de basura. AN ccom.
- Sallo, Darwin. (2014). Producción de biogas a partir de desechos sólidos orgánicos que se generan en el mercado central del cantón arenillas.
- Secretaría de Energía de Argentina. (2021).
- Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. (2004). Ley Nº 25916 - Gestión de Residuos Domiciliarios.
- Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. (2006). Ley 26093: Biocombustibles.
- Sindicato de Luz y Fuerza de Mar del Plata. (2016). Soberanía energética en Argentina – ¿Cómo funciona nuestro sistema energético?
- Subsecretaría de Mercados Agropecuarios. (2020). PRODUCCIÓN GRANARIA ARGENTINA Y EL CONSUMO.
- Télam. (2017). Sólo 8,3% de los municipios cuenta con una planta de separación de residuos sólidos
- Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen. (2018). Biogas, Handbook. Esbjerg, Dinamarca: Universidad del Sur de Dinamarca Esbjerg.
- The world bank. (2015). Diagnóstico de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Argentina
- Tobares, L. (2013). La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. Petrotecnia.
- Tobares, L. (2013). La importancia y el futurp del biogás en la Argentina. Estructplan.
- VIJAY, V. (2011). Biogas Production, Upgradation and Slurry Management. In V. VIJAY, Biogas Production, Upgradation and Slurry Management (p. 134). Narosa.

VIJAY, V. (2011). Biogas Production, Upgradation and Slurry Management. In V. VIJAY, Biogas Production, Upgradation and Slurry Management (p. 134). Narosa.
Wellinger et al. (2013).

20. ANEXOS

ANEXO 1: Cálculo de capacidad de la planta

Se considera la población calculada en el capítulo 5.

$Poblacion := 2590$ En la provincia de Córdoba se considera que se generan 1,01 kg/día de residuos por habitantes.

$$RSTxhabitante := 1.01 \cdot \frac{kg}{day}$$

$$RST := Poblacion \cdot RSTxhabitante = 26159 \cdot \frac{kg}{day}$$

En la Figura 146 se puede visualizar la composición de los RSU en el departamento Unión. La FORSU corresponde al 60% del total.

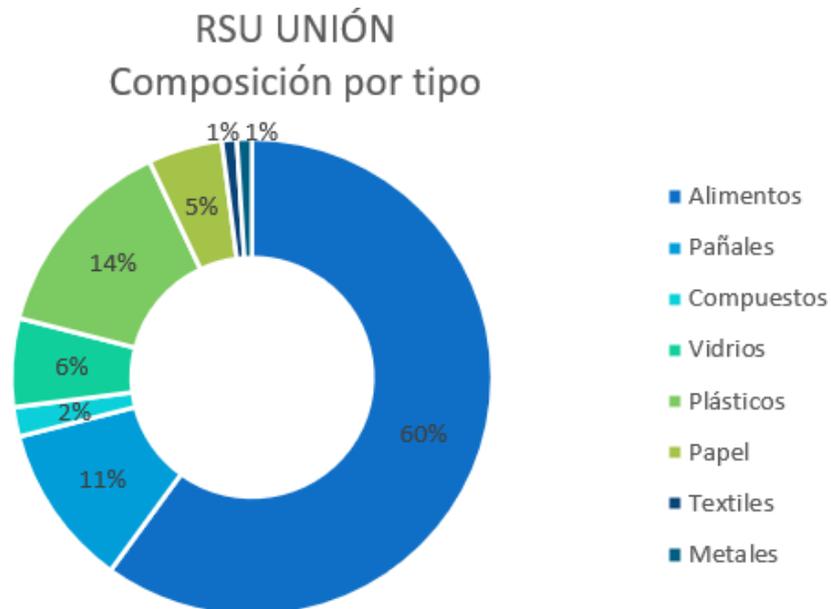


Figura 146. RSU Unión. Composición por tipo

$$fraccorganicos := 0.6$$

$$FORSU := RST \cdot fraccorganicos = 15695.4 \cdot \frac{kg}{day}$$

Debido al aumento de consumo de residuos, se supone un 20% más para el 2031.

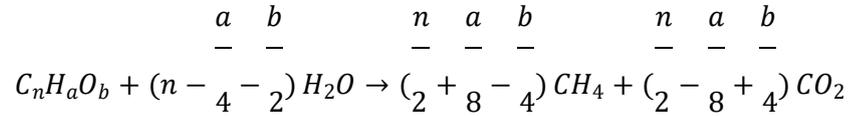
$$Materiaprima' := FORSU \cdot 1.20 = 1.883 \times 10^4 \cdot \frac{kg}{day}$$

Para determinar la capacidad de la planta se define un margen de seguridad del 6,2%.

$$Materiaprima := Materiaprima' \cdot 1.062 = 20 \cdot \frac{tonne}{day}$$

ANEXO 2: Cálculo de proporción de metano y dióxido de carbono mediante la ecuación de Buswell

Ecuación de Buswell:



En la tabla 5 se define la composición del sustrato

$$x_C := 48.3\%$$

$$x_{H_2} := 7.6\%$$

$$x_{O_2} := 35.8\%$$

$$x_{N_2} := 3.3\%$$

$$cenizas := 5\%$$

Considerando la composición del sustrato junto con los pesos moleculares de los compuestos se obtienen los valores de n, a y b

$$mol_C := x_C \cdot \frac{100}{12} = 4.025$$

$$mol_H := x_{H_2} \cdot \frac{100}{1} = 7.6$$

$$mol_O := x_{O_2} \cdot \frac{100}{16} = 2.237$$

$$mol_N := x_{N_2} \cdot \frac{100}{14} = 0.236$$

$$totalmol := mol_C + mol_H + mol_O + mol_N = 14.098$$

Dado

$$n = \frac{\frac{mol_C}{totalmol} \cdot 100}{c}$$

$$a = \frac{\frac{mol_H}{totalmol} \cdot 100}{c}$$

$$b = \frac{\frac{mol_O}{totalmol} \cdot 100}{c}$$

$$1 = \frac{\frac{mol_N}{totalmol} \cdot 100}{c}$$

$$Find(n, a, b, c) \rightarrow \begin{pmatrix} 17.075757575757389 \\ 32.2424242424243890 \\ 9.4924242424241388 \end{pmatrix}$$

(1.671944268524382550)

- - - - -

$$n := 17 \quad a := 32 \quad b := 9$$

Se desglosan los términos de la ecuación en A1, B1, C1 y D1

$$A1 := n \cdot 12 + a \cdot 1 + 9 \cdot 16 = 380$$

$$B1 := \begin{pmatrix} n - a & -b \\ 4 & 2 \end{pmatrix} \cdot 18 = 81$$

$$C1 := \begin{pmatrix} n & a & b \\ 2 & 8 & 4 \end{pmatrix} \cdot 16 = 164$$

$$D1 := \begin{pmatrix} n & a & b \\ 2 & 8 & 4 \end{pmatrix} \cdot 44$$

$$\text{PRIMERTERMINO} := A1 + B1 = 461$$

$$\text{SEGUNDOTERMINO} := C1 + D1 = 461$$

$$\text{FORSU} := H$$

De la tabla 5 se obtienen los valores correspondientes a la humedad, ST y SV de la FORSU

$$\text{humedad} := 70\% \cdot \text{FORSU}$$

$$\text{ST} := 30\% \cdot \text{FORSU}$$

$$\text{SV} := 95\% \cdot \text{ST}$$

$$\text{cenizas} := 5\% \cdot \frac{\text{ST}}{\text{ST}}$$

$$\text{ST}_{\text{FORSU}} := \frac{\text{ST}}{\text{FORSU}}$$

$$\text{SV}_{\text{FORSU}} := \frac{\text{SV}}{\text{FORSU}}$$

Por medio de relaciones estequiométricas, las proporciones másicas son:

$$\text{H2O}_{\text{reaccion}} := \frac{\text{SV}_{\text{FORSU}} \cdot B1}{A1} = 60.75 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

$$\text{CH4}_{\text{reaccion}} := \frac{\text{SV}_{\text{FORSU}} \cdot C1}{A1} = 123 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

$$\text{CO2}_{\text{reaccion}} := \frac{\text{SV}_{\text{FORSU}} \cdot D1}{A1} = 222.75 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

Considerando un 70% de degradación de SV

$$\text{SV}_{\text{realFORSU}} := \text{SV}_{\text{FORSU}} \cdot 0.7 = 199.5 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

$$\text{H2O}_{\text{realreaccion}} := \text{H2O}_{\text{reaccion}} \cdot 0.7 = 42.525 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

$$\text{CH4}_{\text{realreaccion}} := \text{CH4}_{\text{reaccion}} \cdot 0.7 = 86.1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

$$\text{CO2}_{\text{realreaccion}} := \text{CO2}_{\text{reaccion}} \cdot 0.7 = 155.925 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{tonne}}$$

Condiciones normales para calcular la densidad

$$T_n := 273K$$

- -

- - -

- - -

$$R := 0.08205 \frac{l \cdot atm}{mol \cdot K}$$

$$PM_{CH4} := 16 \frac{gm}{mol}$$

$$PM_{CO2} := 44 \frac{gm}{mol}$$

$$\rho_{CH4N} := \frac{1 atm \cdot PM_{CH4}}{R \cdot T_n} = 0.714 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{CO2N} := \frac{1 atm \cdot PM_{CO2}}{R \cdot T_n} = 1.964 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{CO2N} := \frac{1 atm \cdot PM_{CO2}}{R \cdot T_n} = 1.964 \frac{kg}{m^3}$$

Proporciones volumétricas

$$CH4_real_{reaccion}' := \frac{CH4_real_{reaccion}}{\rho_{CH4N}} = 120.538 \cdot \frac{m^3}{tonne}$$

$$CO2_real_{reaccion}' := \frac{CO2_real_{reaccion}}{\rho_{CO2N}} = 79.379 \cdot \frac{m^3}{tonne}$$

Debido a que los componentes en mayor proporción son el metano y el dióxido de carbono, se considera que son los únicos elementos presentes en el mismo

$$Biogas_{Vol} := CH4_real_{reaccion}' + CO2_real_{reaccion}' = 199.917 \cdot \frac{m^3}{tonne}$$

$$Biogas_{CH4} := \frac{CH4_real_{reaccion}'}{Biogas_{Vol}} = 0.603$$

$$Biogas_{CO2} := \frac{CO2_real_{reaccion}'}{Biogas_{Vol}} = 0.397$$

A continuación, se calcula el volumen de metano que se obtiene por cada tonelada de SV

$$Vol_{CH4}_{SV} := \frac{CH4_real_{reaccion}'}{SV_{FORSU}} = 422.941 \cdot \frac{m^3}{tonne}$$

Se considera un contenido energético bruto de 38,7 MJ por cada Nm³ de CH₄. Por otro lado, se sabe que el único componente del biogás que aporta energía es el metano, por lo que se calcula poder calorífico por cada m³ de biogás y por cada tonelada de sustrato, en función del metano presente en el mismo.

$$PC_{CH4} := 38.7 \frac{MJ}{m^3}$$

$$PC_{biogas} := PC_{CH4} \cdot Biogas_{CH4} = 23.33 \cdot \frac{MJ}{m^3}$$

MJ

$$PC_{\text{sustrato}} := PC_{\text{CH}_4} \cdot CH_4_{\text{real}} / reaccion' = 4664.83 \cdot \frac{\text{---}}{\text{tonne}}$$

De esta manera se puede obtener el caudal volumétrico de la corriente de biogás obtenido de la reacción (K)

$$K_V := \frac{CH4_real_{reaccion} \cdot \frac{kg}{m^3}}{x5k_V} \cdot H$$

Debido a que en la ecuación de Buswell se supuso que el biogás solo está formado por metano y dióxido de carbono, se procede a calcular la densidad de mismo, teniendo en cuenta únicamente esos componentes.

$$\rho_{biogas_N} := \frac{\rho_{CH4_N} \cdot Biogas_{CH4} + \rho_{CO2_N} \cdot Biogas_{CO2}}{\frac{kg}{m^3}}$$

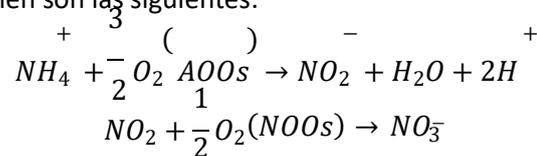
Por lo que la corriente K en unidades másicas se calcula de la siguiente manera:

$$K := K_V \cdot \rho_{biogas_N}$$

ANEXO 3: reacción aerobia- nitrificación

El término nitrificación describe el proceso biológico mediante el cual el amonio libre (NH₃) y salino (NH₄⁺) se oxidan a nitrito y subsecuentemente a nitrato.

Las reacciones que intervienen son las siguientes:



El sistema más básico o elemental de lodos activados modelado para el proceso de nitrificación corresponde a un reactor completamente mezclado con control hidráulico de la edad de lodos. Este sistema bajo condiciones en estado estacionario proporciona la información necesaria para el diseño de un sistema que lleve a cabo el proceso de nitrificación. La solución principal del modelo en estado estacionario es la determinación de la concentración de amonio en el efluente (N_{ae}). Esta solución forma la base del análisis del comportamiento del proceso de nitrificación y arroja la información requerida para el diseño y control del proceso en sistemas de lodos activados.

De bibliografía se obtiene la DQO de un digestato proveniente de FORSU. Se decide tomar el valor más pequeño ya que se considera que la DQO en el digestato líquido es menor que en la fracción sólida. (Energy Technology- Environmental Tecnology- Manufacturing, 2021).

$$DQO_{vol} := 15000 \cdot \frac{mg}{liter} = 15 \frac{kg}{m^3}$$

$$DQO_{vol}$$

$$DQO := \frac{DQO_{vol}}{1000 \frac{kg}{m^3}} = 0.015$$

$$SSVj2 := xSVj \cdot \frac{J}{J2} = 0.1919$$

$$S_{tj} := DQO_{vol}$$

$$SSV_{vol} := SSVj2 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 191.94 \frac{kg}{m^3}$$

Se toma la temperatura de operación a 20°C para asegurar que ocurra el proceso de nitrificación, además los coeficientes necesarios para la resolución se encontraron a dicha temperatura.

El rendimiento a 20°C, medido en función de la DQO y de los SSV es el siguiente (Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo, 2017)

$$Y_A := 0.1 \frac{mgDQO}{mgNH4}$$

$$Y_{A'} := 0.1 \frac{mgSSV}{mgNH4_N}$$

De la misma bibliografía se extrae la tasa específica máxima de crecimiento a 20°C (μ_{Am20}), la constante de saturación media de los organismos nitrificantes a 20°C (k_{n20}), la tasa específica máxima de nitrificación (k_{Am}), la tasa específica de respiración endógena para los organismos nitrificantes a 20°C (b_{A20}). La μ_{Am20} se selecciona relativamente baja debido a que no se encuentran datos específicos para nuestro afluente.

$$\mu_{Am20} := \frac{0.45}{day} \frac{mg}{mgNH^+-N}$$

$$K_{n20} := 1 \frac{l}{liter} \frac{4}{l}$$

$$K_{Am} := 4. \frac{1}{day} \frac{mgN}{mgSSV \cdot día}$$

$$b_{A20} := 0.04 \cdot \frac{1}{day} \frac{mgAOOSSV}{mgAOOSSV \cdot día}$$

Se selecciona un factor de seguridad alto para asegurar la nitrificación

$$Sf := 1.3$$

Se sigue el procedimiento detallado en el capítulo 5 del libro para aguas residuales (Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo, 2017)

El pH de la corriente es igual a 8, el cual se encuentra dentro del rango óptimo.

La edad de lodos (TRS) en días, está definida por:

$$TRS = \frac{\text{masa de lodos en el reactor}}{\text{masa de lodos purgados diariamente}}$$

A continuación, se calcula el tiempo de retención de sólidos mínimo para un sistema completamente aerobio (fracción máxima de masa de lodos no aireada $f_{xm} = 0$). Es decir, la edad mínima requerida

para que ocurra el proceso de nitrificación.

$$TRS_{min} := \frac{S_f}{\mu_{Am20} - b_{A20}} = 3.29 \cdot \text{day}$$

A edades de lodo menores que la edad mínima requerida para nitrificación, los organismos son “lavados” o “desechados” del sistema y por esto son llamadas también edades de lodo de “lavado”. Cuando la planta opera a edad de lodo baja, la nitrificación no se produce en condiciones normales, se favorece mejor su ocurrencia cuando se logra un tiempo de retención intermedio, entre 10 a 20 días. Además, para edades de lodo mayores a aproximadamente 4 días, la depredación de las bacterias por parte de los protozoos es elevada y las propiedades floculantes del lodo son buenas lo que permite una baja dispersión de las partículas. (Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo, 2017).

Por otro lado, a medida que se incrementa la edad de lodos (cuando $TRS > TRS_m$) también se incrementa la eficiencia del proceso de nitrificación. Esto puede ocurrir siempre y cuando el amonio libre y salino sea el factor limitante, y por consiguiente que el resto de los requerimientos se cumplan, como por ejemplo que la cantidad de oxígeno suministrada sea suficiente.

De esta manera, se define un TRS igual a 17 días.

Concentración de N en el afluente

Antes de comenzar con los cálculos es necesario aclarar que cuando se menciona la palabra afluente se hace referencia a la corriente Pi (ingresante al sistema de nitrificación), mientras que efluente se representa a la corriente Pe (ingresante al biofiltro)

La concentración de NTK en J2 es la siguiente

$$N_{ti} := x8j2 \cdot 1000 \frac{kg}{\cancel{m^3}} = 19222.86 \frac{mg}{liter}$$

Si bien la corriente es mezclada con una solución de $CaCO_3$, la pequeña cantidad introducida en Pc con respecto a la corriente Pe no varía en gran medida los cálculos.

De bibliografía se obtiene que la fracción de amonio libre y salino en el NTK (f_{Na}) es igual a 0,75. (Energy Technology- Environmental Technology- Manufacturing, 2021). Mientras que se acepta que la fracción de nitrógeno soluble no biodegradable (f_{Nous}) es igual a 0.03, al igual que para el agua residual cruda. De esta manera, la concentración de amonio en el afluente (N_{ai}) se puede estimar como:

$$N_{ai} := f_{Na} \cdot N_{ti} = 14417.15 \frac{mg}{liter}$$

Y la concentración de nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (N_{ousi})

$$N_{ousi} := f_{Nous} \cdot N_{ti} = 576.69 \frac{mg}{liter}$$

Adicionalmente, aceptando que el contenido de nitrógeno de la materia orgánica particulada no biodegradable en el afluente (f_n) es igual a 0,10 mgN/mgSSV, la fracción particulada no biodegradable de la DQO total en el afluente (f_{Sup}) es 0,15; entonces la concentración de nitrógeno orgánico asociado al componente orgánico particulado no biodegradable (N_{oupi}) es:

$$f_{cv} := \frac{S_{ti}}{SSV_{vol}} = 0.078 \frac{kgDQO}{kgSSV}$$

$$N_{oupi} := \frac{f_n \cdot f_{Sup} \cdot S_{ti}}{f_{cv}} = 2879.13 \frac{mg}{liter}$$

Por ende, la concentración de nitrógeno orgánico biodegradable en el afluente (N_{obi}), tanto soluble como particulado ($N_{obi} = N_{obsi} + N_{obpi}$) que se convierte en amoníaco está dado por:

$$N_{obi} := N_{ti} \cdot (1 - f_{Na} - f_{Nous}) - N_{oupi} = 1349.9 \cdot \frac{mg}{liter}$$

Comportamiento del proceso de nitrificación

El modelo en estado estacionario parte de la premisa que toda la materia orgánica biodegradable es degradada, y que todo el contenido de nitrógeno dentro de la misma es liberado como amonio. Por esta razón, la concentración de nitrógeno orgánico biodegradable en el efluente (N_{obse}) es cero. Además, el nitrógeno orgánico soluble no biodegradable en el efluente es igual al del afluente. N_{obse}

:= 0

$$N_{ouse} := N_{ous}$$

Concentración de nitrógeno requerido para la producción de lodos

La concentración de amonio disponible para el proceso de nitrificación (N_{an}) es igual a la concentración de NTK en el afluente (N_{ti}) menos la concentración de nitrógeno requerido para la producción de lodos (N_s) y menos la concentración de nitrógeno orgánico soluble en el efluente (N_{ouse}).

Por otro lado, la concentración N_s se determina de la masa de nitrógeno que se incorpora a la masa de SSV diariamente.

$$N_s := S_{ti} \cdot f_n \cdot \left[\frac{(1 - f_{Sus} - f_{Sup}) \cdot Y_{Hv}}{1 + b_H \cdot TRS} \cdot (1 + f_H \cdot b_H \cdot TRS) + \frac{f_{Sup}}{f_{CV}} \right] = 3067.34 \cdot \frac{mg}{liter}$$

$$N_{an} := N_{ti} - N_s - N_{ouse} = 15578.84 \cdot \frac{mg}{liter}$$

La concentración de amonio en el reactor (N_a), que por la definición de un reactor completamente mezclado es igual a la concentración en el efluente (N_{ae}), para edades de lodo altas, N_{ae} es bajo principalmente a edades del lodo mayores a 4 días., mientras que, por debajo de este valor, N_{ae} aumenta rápidamente.

Para $TR > TR_{sm}$: La concentración de amonio en el efluente (N_{ae}) es la siguiente:

$$N_{ae} := \frac{K_{n20} \cdot \left(b_{A20} + \frac{1}{TR} \right)}{\mu_{Am20} \cdot (1 - f_{xt}) - \left(b_{A20} + \frac{1}{TR} \right)} = 0.28 \cdot \frac{mg}{liter}$$

La concentración de NTK en el efluente (N_{te}), el cual es igual a la concentración de NTK en la purga ya que es soluble en el líquido. Este incluye el amonio libre y salino (N_{ae}) y el nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (N_{ouse}).

$$N_{te} := N_{ae} + N_{ouse} = 576.97 \cdot \frac{mg}{liter}$$

La concentración de nitrato en el efluente (N_{ne}) se puede obtener de las dos formas que se presenta a

$$N_{ne} := N_{an} - N_{ae} = 15578.56 \cdot \frac{mg}{liter}$$

continuación, el cual representa la cantidad de nitrato producido en el sistema con respecto al caudal del afluente.

$$N_{ne1} := (N_{ti} - N_s - N_{te}) = 15578.56 \cdot \frac{mg}{liter}$$

De esta manera, teniendo en cuenta la cantidad de nitrato que se necesita en el biofiltro, se puede calcular el caudal de la corriente J2 que se envía hacia el proceso de nitrificación.

$$Pi_v := \frac{\text{caudalNO}_3^{\text{masico}}}{N_{ne}}$$

$$Pi := Pi_v \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Requerimiento de carbonato de calcio

De las ecuaciones generales de la nitrificación, se observa que el proceso de nitrificación libera protones lo cual disminuye la alcalinidad del licor mezclado.

$$CaCO_3 := 2 \cdot \frac{50}{14} = 7.14$$

El proceso de nitrificación consume alcalinidad (a razón de 7,14 mg/l como CaCO₃ por cada mg de amonio libre y salino convertido a nitrato). De esta manera se obtiene la cantidad de CaCO₃ que será necesario introducir al sistema.

$$CaCO_3E := CaCO_3 \cdot N_{ne} = 111.28 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{CaCO_3} := CaCO_3E \cdot Pi_v$$

Del capítulo 7, balance de energía, se obtiene el caudal de la solución de CaCO₃ que ingresa al sistema.

$$P_c = 9.463,70 \text{ kg/día}$$

Del anexo 4 se extrae el volumen necesario del reactor (V_{RO3}), es cual es igual a 11,87 m³, para calcular el caudal de purga necesario en el sistema (P_{W_v})

$$P_{W_v} := \frac{V_{RO3}}{TRS'}$$

$$P_w := P_{W_v} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}$$

De esta manera, por balance de masa se calcula el caudal del efluente.

$$P_e := P_i + P_c - P_w$$

Requerimiento de oxígeno

De las ecuaciones generales de la nitrificación, se observa que el consumo de oxígeno es el siguiente

$$\text{requerimientodeoxigeno} := 2 \cdot \frac{32}{14} = 4.571$$

$$FN_{ne} := (P_{e_v} + P_{W_v}) N_{ne}$$

$$FO_n := 4.57 \cdot FN_{ne}$$

Como parámetro de diseño se debe considerar que la cantidad de O_2 disuelto sea mayor a $3\text{mgO}_2/\text{l}$ para que se produzca la nitrificación.

ANEXO 4: Diseño de equipos

R-01: Reactor anaeróbico

Para un reactor de flujo pistón Dranco se utiliza un TRH de 21 días.

Se van a utilizar dos reactores de igual tamaño, por lo que la corriente H se divide en dos caudales iguales.

$$H_v := \frac{H \cdot \frac{\text{kg}}{\text{day}}}{\rho_{\text{FORSU}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 35.03 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$

$$VR01 := \frac{H_v}{2} \cdot TRH_{R01} = 367.77 \cdot \text{m}^3$$

De esta manera se calcula la TCO de cada uno de los reactores:

$$TCO := \frac{SV \cdot \frac{\text{kg}}{\text{day}}}{VR01} = 20.36 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{day}}$$

Se toma un margen de seguridad del 5% para cada uno, de esta manera se obtiene el volumen final del reactor

$$VR01_{\text{real}} := VR01 \cdot 1.05 = 386.16 \cdot \text{m}^3$$

Para la simplificación de cálculos se supone que el reactor es un cilindro, cuya relación h/d debe oscilar entre 1,5 y 2. De esta manera se calcula el diámetro y la altura del equipo.

$$dR01 := 6.5 \text{ m} \quad hR01 := \frac{VR01_{\text{real}}}{\left[\pi \cdot \left(\frac{dR01}{2} \right)^2 \right]} = 11.64 \text{ m} \quad \frac{hR01}{dR01} = 1.79$$

A continuación, se procede a calcular las dimensiones del reactor con el formato real, es decir, cónico. Para esto se realiza un procedimiento por iteración, de tal manera que variando las alturas correspondientes a la parte cilíndrica y a la cónica el volumen del reactor sea igual al calculado anteriormente.

$$h_{\text{cilindro}} := 0.85 \cdot hR01 = 9.89 \text{ m}$$

$$h_{\text{cilindro redondeada}} := h_{\text{cilindro}} \cdot 1.118 = 11.06 \text{ m}$$

$$h_{\text{cono}} := hR01 - h_{\text{cilindro}} = 1.75 \text{ m}$$

$$V_{cono} := \frac{\pi \cdot \left(\frac{dRO1}{2}\right)^2 \cdot h_{cono}}{3} = 19.31 \cdot m^3$$

$$V_{cilindro} := \pi \cdot \left(\frac{dRO1}{2}\right)^2 \cdot h_{cilindroredondeada} = 366.97 \cdot m^3$$

$$V_{totalRO1} := V_{cono} + V_{cilindro} = 386.28 \cdot m^3$$

$$h_{total} := h_{cilindroredondeada} + h_{cono} = 12.8 \text{ m}$$

Cálculo para la aislación del reactor

El cálculo del espesor del aislamiento térmico se basa en las fórmulas y valores de tabla presentes en la Norma IRAM 11601:2002 "Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario". (Reynoso, 2017) Se considera un reactor cilíndrico vertical construido con un sistema de capas homogéneas, cuyo ordenamiento (en sentido interior- exterior) y parámetros de cálculos son los siguientes:

- Capa 1. Acero inoxidable: 0,009 m espesor, λ (conductividad térmica) 17,7 W/m*K.
- Capa 2. Placa de poliestireno expandido: X m espesor, λ 0,035 W/m*K (corresponde a plancha de densidad aparente de 20 kg/m³).
- Capa 3. Chapa galvanizada acanalada: 0,0015 m espesor, λ 110 W/m*K (valor asimilado a Latón).

El espesor de la capa 2 es la incógnita del problema.

En este caso debe adicionarse un valor de Resistencia térmica superficial (R_s), correspondiente a la interfaz del reactor con el medio externo: 0,04 m²*K/W. (Reynoso, 2017)

Como se mencionó anteriormente, el valor de transmitancia térmica total del sistema de capas debe ser inferior a 0,2 W/m²*K al tratarse de un proceso termófilo.

Se toma el criterio de efectuar los cálculos bajo la modalidad de elementos constructivos planos, para el caso de la base y techo del reactor, y de los elementos cilíndricos para la envolvente lateral del mismo.

A continuación, se presenta el cálculo y los resultados para la base y el techo.

$$Resistencia\ térmica\ de\ la\ capa\ (R_i) = \frac{espesor\ de\ la\ capa}{\lambda\ del\ material}$$

$$Resistencia\ térmica\ total\ (R_t) = R_s + \sum_{i=1} R_i$$

$$R_1 := \frac{\varepsilon_1}{\lambda_1} = 5.52 \cdot \frac{cm^2 \cdot K}{W} \quad R_3 := \frac{\varepsilon_3}{\lambda_3} = 0.14 \cdot \frac{cm^2 \cdot K}{W}$$

Con el fin de evitar instalar un sistema de calefacción, se considera un valor de la transmitancia térmica total de 0,15 W/m²K.

$$UT_{bt} := 0.15 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad RT_{bt} := \frac{1}{UT_{bt}} \quad RT_{bt} = R_s + R_1 + \frac{\varepsilon_2}{\lambda_2} + R_3$$

De esta manera, se calcula el espesor de la capa de poliestireno.

$$\varepsilon_2 := (RT_{bt} - R_s - R_1 - R_3) \cdot \lambda_2 = 23.19 \cdot cm$$

Para la envolvente lateral, primeramente, se definen los radios correspondientes a cada capa. Se considera que el grosor de las capas es el mismo que el utilizado en base y techo.

$$r_{RO1_{int}} := \frac{d_{RO1}}{2} = 3.25 \text{ m} \quad r_{1_{int}} := r_{RO1_{int}} \quad r_{1_{ext}} := r_{1_{int}} + \varepsilon_1$$

$$r_{2_{int}} := r_{1_{ext}} \quad r_{2_{ext}} := r_{2_{int}} + \varepsilon_2 \quad r_{3_{int}} := r_{2_{ext}}$$

$$r_{3_{ext}} := r_{3_{int}} + \varepsilon_3 \quad +$$

La transmitancia térmica por metro de largo del cilindro queda definida de la siguiente manera:

$$UT_l := \frac{2 \cdot \pi}{\frac{\ln\left(\frac{r_{1_{ext}}}{r_{1_{int}}}\right)}{\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_{2_{ext}}}{r_{2_{int}}}\right)}{\lambda_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_{3_{ext}}}{r_{3_{int}}}\right)}{\lambda_3} + \frac{R_s}{r_{3_{ext}}}} = 3.18 \cdot \frac{W}{m \cdot K}$$

El cálculo anterior nos arroja como resultado la transmitancia térmica total lateral por metro lineal del cilindro (cuerpo del reactor); por lo que a este valor hay que afectarlo por la cantidad de metros cuadrados, de la cara externa, del anillo cilíndrico de 1 m de largo, de manera de obtener una expresión por metro cuadrado de superficie lateral; tal y como se presenta a continuación

$$UT_l' := UT_l \cdot \frac{1 \cdot m}{SR_{O1_{base}} \cdot 2} = 0.05 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Se puede observar que el valor de la transmitancia total es menor que el necesario en sistemas termófilos, por lo que el espesor de aislante elegido es satisfactorio.

F-02: Biofiltro

El dimensionamiento del biofiltro depende principalmente de la elección del material de relleno. En la tabla siguiente se presenta las características de distintos rellenos que podrían usarse para conformar el lecho de la columna. De la misma se puede observar que el material del lecho es muy importante en relación con la capacidad crítica de eliminación. Esto es lógico debido a la superficie específica propia de los materiales de relleno. Los Anillos Pall, así como la OPUF tienen una superficie específica extremadamente alta en comparación con lechos primitivos como pueden ser piedras volcánicas o las astillas de madera, y, por lo tanto, podrá albergar una biomasa con mayor población, y, en definitiva, eliminar más contaminante por metro cúbico de lecho.

Tabla 186. Valores bibliográficos de la Capacidad de Eliminación de H₂S.
Fuente: (Carmona, 2015)

Material del lecho	Altura/Diámetro	EC crítica (g S/m ³ h)	EC máxima (g S/m ³ h)
Anillos Pall	2,3	120	171
OPUF	2,6	130	170
Astillas de madera y espuma de poliuretano	5,81	15,1	-
Fibras plásticas	2,52	7,3	11,6
Roca Volcánica	2,52	7,5	11,5

Selección del material de soporte del biofiltro

El uso de un material de relleno adecuado para el crecimiento microbiano es de vital importancia, ya que se puede observar que la diferencia entre un material con una superficie específica baja (como por ejemplo la roca volcánica) y otra con una superficie específica alta (por ejemplo, los Anillos Pall) es que el valor de eliminación crítica puede llegar a ser de más de 10 veces menor.

De esta manera, los materiales más óptimos son Anillos Pall y OPUF. En la tabla siguiente se presenta una comparación de ambos.

*Tabla 187. Características de los materiales para utilizar en el lecho.
Fuente: (Carmona, 2015)*

	Anillos Pall	OPUF
Densidad (kg/m ³)	51,8	24
Espacio libre (%)	95	N/D
Superficie específica (m ² /m ³)	100	600
Temperatura máxima	90	120

Si bien la OPUF parece tener mejores características que los Anillos Pall, por tener menor peso, y, por lo tanto, disminuirá el peso de la torre. También, al tener mayor superficie específica, tendrá mayor superficie por metro cúbico para que se puedan adherir mayor cantidad biomasa, y, por lo tanto, al haber más microorganismos, se debería de poder tener mayor capacidad de eliminación por metro cúbico. Se deben considerar algunas desventajas en la selección del material, como la baja resistencia a la compresión, lo cual al añadir el peso de la biomasa y de los productos retenidos, puede llegar a producir alguna obstrucción en el biofiltro. La segunda es que, por motivo de tener una alta superficie específica, el espacio libre por metro cúbico es notablemente inferior a la de los Anillos Pall, y, por tanto, dificulta la circulación tanto del biogás como del líquido que fluye por la columna. Este efecto aumentaría a lo largo del tiempo debido al crecimiento de la biomasa, así como el aumento de los productos depositados en el material soporte. Por último, va perdiendo superficie específica a lo largo del tiempo. Otro aspecto no menos importante, es el bajo costo de mantenimiento que tienen los Anillos Pall frente al OPUF, así como gastos de instalación, debido que se pueden añadir y retirar sin tratamiento previo, sin embargo, la OPUF requeriría una comprobación de que no hay ningún hueco no cubierto para evitar caminos preferenciales, especialmente en las paredes del biofiltro.

Por ello, se elegirá como material soporte los Anillos Pall, modelo PallPak 100 B de la compañía The Pall Ring Company LTD. Además se escoge como soporte para los Anillos Pall el plato de soporte de la misma compañía suministradora.

De la tabla se extrae que la capacidad de eliminación crítica ($EC_{critico}$) correspondiente a los Anillos Pall es igual a 120 g/m³h. Para sobredimensionar el sistema se toma como valor final un 90% del valor que se acaba de proponer.

$$EC_{critico} := 120 \frac{gm}{m^3 \cdot hr} \cdot 0.9 = 108 \frac{gm}{m^3 \cdot hr}$$

Cálculo geométrico del lecho

En la industria es común observar que los equipos donde existen equilibrios gas-líquido, ya sean torres de rectificación o biofiltros percolador, suelen tener geometría cilíndrica. Es lógico pensar esto debido

a que una geometría rectangular produciría zonas muertas en las esquinas, y, por lo tanto, no se podría obtener una distribución óptima. Por este motivo, se seleccionará la geometría cilíndrica para el biofiltro.

El porcentaje de eliminación se define de la siguiente manera

$$RE = \frac{C_{entrada,H_2S} - C_{salida,H_2S}}{C_{entrada,H_2S}}$$

Como la concentración de salida de H₂S es igual a cero, entonces RE es igual a 1.

Además, teniendo en cuenta la definición de la capacidad de eliminación: los gramos azufre que contiene el H₂S por cada hora por metro cúbico de lecho. LA cual matemáticamente se representa en la siguiente ecuación:

$$EC = RE * L$$

Donde L es la carga de entrada, definida como:

$$L = \frac{Qv}{V_{lecho}} * C_{entrada,H_2S}$$

Se despeja el volumen del lecho y se obtiene la siguiente ecuación.

$$V_{lecho} = \frac{Caudal_{m\acute{a}sico}}{EC_{crítico}}$$

Reemplazando los datos correspondientes al equipo:

$$V_{lecho} := \frac{P \cdot x6p \cdot \frac{kg}{day}}{EC_{crítico}} = 8.34 \cdot m^3$$

Una vez tenemos el volumen del lecho, que es donde realmente se producirá la reacción, se puede calcular el TR:

$$TR := \frac{V_{lecho}}{P_v} = 2.32 \cdot min$$

Diseño geométrico del biofiltro percolador

El diámetro del biofiltro es el igual al diámetro del soporte de los Anillos Pall, el cual es 2,4 m. De esta manera, se procede a calcular la altura del lecho utilizando la ecuación de volumen de un cilindro.

$$H_{lecho} := \frac{V_{lecho}}{\left(\frac{\pi \cdot D_{FO2}^2}{4} \right)} = 1.84 \cdot m$$

Por debajo del lecho, se mantiene una altura de 1 metro para mantener un mínimo nivel de líquido. Con esto conseguimos siempre haya líquido para la aspiración por parte de las dos bombas que se ceban desde el biofiltro (recirculación, circulación hacia el sistema de nitrificación y purga). También se consigue un amortiguamiento de una posible desviación en las concentraciones normales del biofiltro.

En la parte superior del líquido de fondo, se encontrará la entrada / salida (depende del modo de operación) del biogás, por lo tanto, tendrá que tener una altura que sea exactamente el diámetro de la tubería. En este caso se considera 0,5 m, luego se tendrá 1,84 m correspondiente a la altura del lecho y por encima se aumenta 1 m la altura para permitir que el líquido tenga una buena distribución por la

columna, así como para permitir una posible ampliación en el futuro.

En resumen:

Tabla 188. Resumen de dimensiones del biofiltro
Fuente: elaboración propia

	Valor
Diámetro de la columna (m)	2,4
Altura del fondo para el líquido (m)	1
Altura para la entrada del biofiltro (m)	0,5
Altura del lecho (m)	1,84
Altura por encima del lecho (m)	1
Altura total de la columna (m)	4,34
Relación Altura/Diámetro	1,81
Volumen total de la columna (m ³)	19,65

R-03- Reactor aerobio

Para el cálculo del volumen del biorreactor se toma una velocidad de nitrificación en kg-N-NH₄/m³. Se escoge la velocidad de nitrificación a 20°C, ya que se cuenta con dicho dato y además sirve para sobredimensionar el sistema. En la tabla se observa la velocidad extraída de diferentes bibliografías.

Tabla 189. Velocidad de nitrificación a una temperatura de 20 °C.
Fuente: (Carmona, 2015)

Temperatura (°C)	Kg N/m ³ día
20	0,9
20	7,5
Temperatura ambiente	0,3
20	0,8
20	0,9

Si se eliminan los valores extremos, se quedan unos valores bastante parejos. De esta manera se adoptó una velocidad de 0,9 Kg N/m³día, la cual es convertida a unidades molares.

$$PM_N := 14 \frac{gm}{mol}$$

$$r_{nitrificacion} := 0.9 \frac{kg}{m^3 \cdot day} \cdot \frac{1}{PM_N} = 64.29 \cdot \frac{mol}{m^3 \cdot day}$$

De esta manera se calcula el volumen necesario del reactor

$$V_{R03} := \frac{caudalNO3}{r_{nitrificacion}} = 15.82 \cdot m^3$$

El TRS se definió en el capítulo 7 como 17 días, por lo que a continuación se calcula el TRH, el cual se hace independiente y menor que el TRS debido a la recirculación de lodos.

En la teoría de lodos activados, el volumen del proceso por unidad de volumen del caudal de entrada se conoce como el tiempo de retención hidráulico nominal (TRH_n), definido como:

$$TRH_n := \frac{V_{RO3}}{P_{iV}} = 3.91 \cdot \text{day}$$

Para el cálculo geométrico se adopta una forma rectangular y se define una longitud, en este caso se va a optar por una altura de 2 m. Además, se aumentará una altura de 0,5 metros para contrarrestar el fenómeno “hold-up”, pero este aumento no contará para el cálculo del volumen de reactor. Por otro lado, el largo del reactor debe ser el doble del ancho, de esta manera se obtiene:

Altura (H): 2 m.

Ancho (b): 1,99 m.

Largo (a): 3,98 m.

Se procede a calcular el área del mismo:

$$\text{Área: } b \cdot a = 7,91 \text{ m}^2$$

Cálculo de la agitación

La agitación se produce por medios mecánicos. Como se menciona en el capítulo 8, la velocidad de agitación seleccionada es de 1 rps (N) y el impulsor seleccionado es una turbina de disco. Mediante las relaciones de las medidas del impulsor y rotor se calculan las medidas del mismo. Diámetro de la pala y del disco

$$D_a := \frac{b \cdot m}{3} = 0.66 \text{ m}$$

Altura del rotor

$$S := \frac{2 \cdot b \cdot m}{3} = 1.33 \text{ m}$$

Número de Reynolds: para su cálculo se definen algunas propiedades del fluido, como la densidad (ρ), y viscosidad (μ)

$$Re := \frac{\rho \cdot D_a^2 \cdot N}{\mu} = 418510.87$$

Mc cabe expone que en tanques con placas deflectoras y para números de Reynolds superiores a 10.000, la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor. Las variaciones de N_{Fr} , tampoco influyen. En este intervalo el flujo es totalmente independiente y el N_p se hace igual a K_T . (Cabe, 2007)

$$K_T := 5.75$$

$$Pot := N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 = 0.74 \cdot \text{kW}$$

Cálculo de la aireación

Como se calculó en el anexo 3, el oxígeno necesario por estequiometría es de 926,97 kg/día. Considerando que en el aire existe un 79 % de nitrógeno y un 21 % de oxígeno, ignorando el resto de la composición por ser despreciable, se puede calcular el caudal de aire mínimo. Siendo la densidad del oxígeno 1,43 kg/m³.

$$Caudal_{O_2} := \frac{FO_n}{1.429 \frac{kg}{m^3}} = 648.68 \cdot \frac{m^3}{day} \quad Caudal_{Aire} := \frac{Caudal_{O_2}}{0.21} = 128.71 \cdot \frac{m^3}{hr}$$

Está comprobado que con una aireación de 0,03 vvm es suficiente para mantener el proceso estable, por lo que el caudal de aire quedaría de la siguiente manera. (Carmona, 2015)

$$Q_{flujoaire} := 0.03 \cdot V \cdot m^3 \cdot \frac{1}{min} = 28.48 \cdot \frac{m^3}{hr}$$

También se puede calcular la concentración en equilibrio que habrá en el reactor aerobio. Para ello se recurre a la Ley de Henry. La constante de Henry a 20°C (H₂₀) es de 45.000 atm, que se puede transformar con un factor de conversión (F_c) de 55.342 mol/m³ (Carmona, 2015)

$$H_{O_2} := \frac{H_{20}}{F_c} = 0.81 \cdot \frac{atm}{\frac{mol}{m^3}}$$

Como la presión del líquido es 1 atm y sabemos que el oxígeno del aire es un 21 % del total, se puede calcular de forma sencilla la concentración molar y másica en equilibrio:

$$C_{O_2.equilibrio} := \frac{0.21atm}{H_{O_2}} = 0.26 \cdot \frac{mol}{m^3} \quad C_{O_2.equilibrio} \cdot PM_{O_2} = 8.26 \cdot \frac{gm}{m^3}$$

A continuación, se calcula la velocidad de transferencia de oxígeno volumétrica, para la cual se necesita *K_La*. Este coeficiente depende de muchos factores, por lo que se debe de medir experimentalmente. Sin embargo, también se puede recurrir a correlaciones bibliográficas para estimar un valor. Una de las posibilidades es la propuesta siguiente (Cooper y col.):

$$K_L a = 41,44 \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,47} v_s^{0,39}$$

Donde P_g es la potencia de agitación (W), V el volumen del reactor (m³) y v_s la velocidad superficial del gas (m/h).

$$v_s := \frac{Q_{flujoaire}}{Sup} = 3.6 \cdot \frac{m}{hr}$$

$$K_{La} := \frac{41.44}{hr} \cdot \left[\frac{\frac{Pot}{W}}{\left(\frac{V m^3}{m^3} \right)} \right]^{0.47} \cdot \left(\frac{v_s}{\frac{m}{hr}} \right)^{0.39} = 415.13 \cdot \frac{1}{hr}$$

De esta manera, se puede calcular la velocidad de transferencia de oxígeno $N_A = K_L \cdot a \cdot (C^\circ - C)$

Siendo C^o la concentración de oxígeno en el equilibrio, y C la concentración de oxígeno en el seno del líquido. Para éste último, consultando diversas bibliografías se adopta un valor, el cual debe controlarse, de 4 g/m^3 .

$$N_A := K_{La} \cdot \left(C_{O2.equilibrio} \cdot PM_{O2} - 4 \frac{\text{gm}}{\text{m}^3} \right) = 1770.29 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{hr} \cdot \text{m}^3}$$

Por otro lado, se calcula la velocidad de consumo de oxígeno, la cual debe ser menor que la transferencia de oxígeno para cubrir los requerimientos.

$$r_{\text{consumoO2}} := \frac{FO_n}{V_{R03}} = 2440.81 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{m}^3 \cdot \text{hr}}$$

Se observa que la velocidad de consumo es mayor que la velocidad de transferencia, por lo que el oxígeno no sería suficiente para que se produzca el nitrato requerido. Por este motivo, se utiliza la cantidad de oxígeno estequiométrico para obtener una velocidad de transferencia mayor a la velocidad de consumo de oxígeno. Se determina un caudal de aire igual a $128,71 \text{ m}^3/\text{h}$, con el cual se procede a calcular la velocidad de transferencia de oxígeno para comprobar el correcto funcionamiento.

$$Q_{\text{aire}} = 128.71 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \quad v_{s'} := \frac{Q_{\text{aire}}}{\text{Sup}} = 16.27 \cdot \frac{\text{m}}{\text{hr}}$$

$$K_{La'} := \frac{41.44}{\text{hr}} \cdot \left[\frac{\frac{\text{Pot}}{W}}{\left(\frac{V_{R03}}{\text{m}^3} \right)} \right]^{0.47} \cdot \left(\frac{v_{s'}}{\frac{\text{m}}{\text{hr}}} \right)^{0.39} = 747.54 \cdot \frac{1}{\text{hr}}$$

$$N_{A'} := K_{La'} \cdot \left(C_{O2.equilibrio} \cdot PM_{O2} - 4 \frac{\text{gm}}{\text{m}^3} \right) = 3187.83 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{hr} \cdot \text{m}^3}$$

F-01: Separador helicoidal

Para su cálculo se utiliza un método mediante tablas dadas por la empresa proveedora, 911 Metallurgist, para la elección del separador, cuando no se han realizado las pruebas de sedimentación. Los sólidos que se desean rebose son los siguientes, con una granulometría de 100 mallas de una pulpa de 15% de sólidos.

$$J1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{day}} = 9.22 \cdot \frac{\text{tonne}}{\text{day}}$$

La siguiente tabla proporciona la capacidad de rebose, por pie cuadrado de la poza del clasificador, en toneladas de sólidos secos y en pies cúbicos de pulpa por 24 horas, para varias densidades de pulpa y diferentes separaciones de mallas.

Tabla 190. Capacidad por rebose de la Poza del clasificador
Toneladas de sólidos secos por 24 horas de rebose por pie cuadrado de área de la poza.

Volumen de pulpa en pies cúbicos por 24 horas de rebose por pie cuadrado de área de la poza

Clasificación por malla		Densidad de Pulpa % Sólidos en Peso								
		Agua 0	5	10	15	20	25	30	35	40
14	Tons	0	4.25	7.75	10.4	12.6	13.9	14.5	14.4	13.5
	Vol.	3075	2640	2325	2025	1760	1500	1260	1030	810
20	Tons	0	3.85	7.00	9.45	11.4	12.5	13.2	13.0	12.3
	Vol.	2790	2390	2100	1830	1590	1350	1145	930	740
28	Tons	0	3.43	6.22	8.40	10.1	11.2	11.7	11.6	10.8
	Vol.	2480	2125	1865	1630	1415	1210	1015	830	650
35	Tons	0	3.02	5.50	7.43	8.92	9.83	10.4	10.2	9.55
	Vol.	2180	1875	1650	1440	1250	1060	900	735	575
48	Tons	0	2.62	4.73	6.40	7.68	8.51	8.95	8.80	8.32
	Vol.	1880	1620	1420	1240	1075	920	775	630	500
65	Tons	0	2.18	3.97	5.35	6.43	7.13	7.48	7.39	6.82
	Vol.	1575	1350	1190	1040	900	770	650	530	410
100	Tons	0	1.79	3.25	4.38	5.22	5.82	6.05	5.99	5.65
	Vol.	1280	1110	975	850	730	630	525	430	340
150	Tons	0	1.37	2.48	3.34	4.00	4.44	4.62	4.59	4.16
	Vol.	980	850	745	650	560	480	400	330	250
200	Tons	0	.95	1.70	2.29	2.72	3.06	3.17	3.13	2.82
	Vol.	670	590	510	445	380	330	275	225	170
325	Tons	0	.53	.95	1.29	1.57	1.71	1.73	1.74	1.58
	Vol.	375	330	285	250	220	185	150	125	95

Fuente: (911 Metallurgist, s.f.)

En la tabla se observa que para las especificaciones dadas anteriormente se debe interpolar entre 10% y de 15% de pulpa, de esta manera se obtiene:

$$capacidad\ de\ rebose := 4.38 \frac{tonne}{ft^2 \cdot day}$$

$$Area\ de\ poza\ efectiva := \frac{11 \cdot \frac{kg}{day}}{capacidad\ de\ rebose} = 2.105 \cdot ft^2$$

La siguiente tabla muestra el área efectiva mínima y máxima de la poza en pies cuadrados de clasificadores de flujo cruzado, en varias pendientes del clasificador

Tabla 191. Área efectiva de la poza en pies cuadrados (60% del área real)

Tamaño del Clasificador	3° de Pendiente		3 1/2° de Pendiente		4° de Pendiente		Tamaño del Clasificador	3° de Pendiente		3 1/2° de Pendiente		4° de Pendiente	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
6" Simplex	.85	1.1	.73	.95	.64	.83	30" Duplex	29.0	37.0	25.0	32.0	22.0	28.0
9" Simplex	1.6	2.16	1.4	1.85	1.2	1.6	36" Duplex	37.5	47.0	32.0	40.2	28.0	35.0
12" Simplex	3.0	3.9	2.6	3.4	2.3	3.0	42" Duplex	52.0	65.0	45.0	51.0	40.0	50.0
18" Simplex	7.0	8.7	6.0	7.5	5.25	6.6	48" Duplex	66.0	84.0	56.0	72.0	49.0	63.0
24" Simplex	10.6	13.2	9.0	11.4	7.90	10.0	54" Duplex	82.0	105.0	71.0	96.0	62.5	83.0
30" Simplex	15.0	19.1	12.9	16.4	11.30	14.4	60" Duplex	108.0	144.0	92.0	124.0	80.0	108.0
36" Simplex	19.2	24.0	16.5	20.6	14.4	18.0							
42" Simplex	27.0	33.7	23.2	29.2	20.7	25.9							
48" Simplex	33.6	42.5	28.8	36.5	25.2	32.0							
54" Simplex	42.2	55.9	36.5	46.5	32.2	42.8							
60" Simplex	55.0	73.0	47.0	63.0	41.0	55.0							

Fuente: (911 Metallurgist, s.f.)

Para una separación de malla de 100 se recomienda configurar el clasificador a una pendiente de 3, la siguiente tabla muestra que, a dicha pendiente, el clasificador de flujo cruzado de 9" tiene un área de poza efectiva de 1,60 a 2,16 ft² dependiendo de la altura a la que se establece el vertedero o labio. Por lo tanto, este separador tendrá el tamaño adecuado.

La siguiente tabla muestra que a 100 mallas se recomienda una velocidad periférica de 35 pies/min, que para el clasificador 9" corresponde a 15 RPM. A esta velocidad, el clasificador puede transportar hasta 36 toneladas de sólidos por día.

Tabla 192. Velocidad normal y capacidad de arrastre de arena del transportador

Tabla III VELOCIDAD NORMAL & CAPACIDAD DE ARRASTRE DE ARENA DEL TRANSPORTADOR
TONELADAS EN 24 HORAS

Malla de Separac.	Velocidad Periférica Pies/M.	Tamaño de Clasificador Denver de Flujo Cruzado											
			6	9	12	18	24	30	36	42	48	54	60
14	87	R.P.M.	55	37	28	18.5	13.9	11.1	9.2	8.1	7.0	6.3	5.6
		Tons	49	88	140	250	400	550	720	927	1120	1360	1570
20	78	R.P.M.	50	33	25	16.6	12.4	9.9	8.3	7.3	6.2	5.6	5.0
		Tons	44	79	123	230	350	490	650	836	1000	1200	1400
28	70	R.P.M.	44	30	22	14.8	11.2	8.9	7.4	6.5	5.6	5.0	4.4
		Tons	39	71	110	204	320	430	580	745	900	1080	1250
35	61	R.P.M.	39	26	19.5	13	9.7	7.8	6.5	5.7	4.9	4.4	3.9
		Tons	34	62	97	180	275	385	510	653	780	945	1100
48	52	R.P.M.	33	22	16.6	11	8.3	6.6	5.5	4.8	4.1	3.7	3.3
		Tons	29	55	83	152	235	325	430	550	660	795	930
65	44	R.P.M.	28	19	14.0	9.25	7.0	5.6	4.7	4.1	3.5	3.2	2.8
		Tons	25	45	70	128	200	275	370	470	560	690	780
100	35	R.P.M.	22	15	11.2	7.4	5.6	4.5	3.7	3.3	2.8	2.5	2.2
		Tons	19	36	56	102	160	225	290	378	450	538	620
150	26	R.P.M.	17	11	8.3	5.5	4.1	3.3	2.8	2.5	2.1	1.9	1.7
		Tons	15	26	41	76	115	160	220	286	340	410	470
200	17	R.P.M.	11	7.2	5.4	3.6	2.7	2.2	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1
		Tons	10	17	27	50	75	110	140	183	225	280	310
325	8	R.P.M.	5	3.4	2.5	1.7	1.3	1.0	.85	.7	.6	.6	.5
		Tons	4.4	8	12	23	37	50	67	80	96	130	140

Fuente: (Carmona, 2015)

Adopción de tanques

Tanque de CaCO₃

El flujo de la solución de CaCO₃ (P_c) es 9463,70 kg/día. Considerando la densidad de la solución (1054,83 kg/m³) y el tiempo de almacenamiento requerido (36 horas), se calcula el volumen del tanque necesario.

$$\frac{(P_c)}{\rho_{Pc}} \cdot 36hr = 13457.67L$$

Tanque de CaNO₃

En el anexo 2 se calcula la cantidad de nitrato requerido en el equipo F-02, el cual es igual a 1017,26 mol/día. Considerando el PM de CaNO₃ (164,09 g/mol), se calcula la demanda de CaNO₃ que habría en el caso de que el sistema de nitrificación no funcionara.

$$caudal_{CaNO_3,masico} := caudal_{NO_3} \cdot PM_{CaNO_3} = 166.921 \frac{kg}{day}$$

La solución de CaCO₃ que se usa es del 51%, por lo que el caudal requerido de la solución se calcula de la siguiente manera:

$$solucion_{CaNO_3} := \frac{100 \cdot caudal_{CaNO_3,masico}}{51} = 327.296 \frac{kg}{day}$$

Considerando que la densidad de la solución es 1497,54 kg/m³, se calcula el volumen necesario del tanque para un almacenamiento por 3 días.

$$\frac{solucion_{CaNO_3}}{\rho_{solucionCaNO_3}} \cdot 4day = 874.22L$$

Tanque de NaOH

El hidróxido de sodio se obtiene en forma de solución al 50% P/P. De esta manera, el volumen del tanque de almacenamiento para 30 días es el siguiente

$$\frac{\text{caudal}_{\text{solucionNaOH}} \frac{\text{kg}}{\text{day}}}{P_{\text{NaOH}50\%}} \cdot 30 \text{day} = 665.571 \text{L}$$

ANEXO 5: Planimetría

Los planos se detallan a continuación

- Plano general
- Distribución de equipos en planta- pretratamiento
- Distribución de equipos en planta- tratamiento
- Plano isométrico 01
- Plano isométrico 02
- Plano isométrico 03
- Flow sheet
- Cortes de planta 01
- Cortes de planta 02
- Cortes de planta 03
- Servicios auxiliares
- Servicios- electricidad
- Reactor R-03 01
- Reactor R-03 02
- Reactor R-03 03
- Reactor R-01 01