



3.0 Estudio de Alternativas



JGP

**Consultoria e
Participações Ltda.**

Rua Américo Brasiliense, 615 - São Paulo
CEP 04715-003 - Fone / Fax 5546-0733
e-mail: jgp@jgpconsultoria.com.br

Zona Franca y Planta de Producción de Hidrógeno, Amoniac y Fertilizantes Verdes de ATOME Paraguay S.A.

Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS)

Febrero de 2024

RESUMEN

3.0 Estudio de Alternativas	1
3.1 Alternativas de Localización	1
3.1.1 Alternativas de Terrenos para la Implantación de la Planta	1
3.1.1.1 Alternativas Evaluadas	1
3.1.1.2 Análisis Comparativo	4
3.1.2 Alternativas de Trazado para la Línea de Transmisión	8
3.1.2.1 Alternativas Evaluadas	8
3.1.2.2 Análisis Comparativo	11
3.1.3 Alternativas de Trazado para las Tuberías de Agua y Efluentes Tratados	13
3.1.3.1 Alternativas Evaluadas	13
3.1.3.2 Análisis Comparativo	14
3.2 Alternativas Tecnológicas y Económicas	20
3.2.1 Alternativas de Tecnologías de Electrólisis de H ₂	21
3.2.1.1 Tecnologías Evaluadas	21
3.2.1.2 Análisis Comparativo	25
3.2.2 Alternativas de Recuperación de Productos del Aire	27
3.2.2.1 Opciones Evaluadas	27
3.2.2.2 Análisis Comparativo	28
3.2.3 Alternativas de Tecnologías de Síntesis de NH ₃	30
3.2.3.1 Tecnologías Evaluadas	30
3.2.3.2 Análisis Comparativo	33
3.2.4 Alternativas de Tecnologías de Almacenamiento de CAN	34
3.2.4.1 Tecnologías Evaluadas	34
3.2.4.2 Análisis Comparativo	36
3.2.5 Alternativas de Sistema de Refrigeración	36
3.2.5.1 Tecnologías Evaluadas	36
3.2.5.2 Análisis Comparativo	38
3.2.6 Alternativas de Tratamiento del Agua	39
3.2.6.1 Tecnologías Evaluadas	40
3.2.6.2 Análisis Comparativo	42
3.2.7 Alternativas de Fuente de Agua Superficial y/o Subterránea	44
3.2.7.1 Opciones Evaluadas	44
3.2.7.2 Análisis Comparativo	44
3.3 Alternativa sin Proyecto	46

3.0

Estudio de Alternativas

3.1

Alternativas de Localización

3.1.1

Alternativas de Terrenos para la Implantación de la Planta

3.1.1.1

Alternativas Evaluadas

Se evaluaron tres alternativas de terreno para la construcción de la Planta de H₂, NH₃ y CAN verdes de ATOME, que se muestran en la **Figura 3.1.1.1.a** a continuación. Las tres alternativas estudiadas son aptas para el desarrollo de emprendimientos industriales que requieran altos consumos de energía eléctrica, estando los tres terrenos cerca de subestaciones eléctricas.

Además de estar cerca de una subestación, otras características que se tuvieron en cuenta en la búsqueda de alternativas de terreno fueron la proximidad a fuentes de agua con ciertos requerimientos de calidad y cantidad, y la proximidad a redes viales y portuarias para el envío de los productos finales.

Como se muestra en la **Figura 3.1.1.1.a**, las Alternativas 1 y 2 se encuentran más próximas, ambas cerca de la Subestación (SE) Buey Rodeo (ver Detalle 1 de la Figura), ubicada en el Distrito de Villeta, en el lugar denominado Ype Kaé, Departamento Central, al borde de la Ruta Nacional PY19, totalmente asfaltada, que une los distritos de Villeta y Alberdi.

La Alternativa 3, por su parte, está más alejada de las otras dos, ubicada en Naranjaisy, cerca de la sede de Villeta (ver Detalle 2 de la Figura), lindera a la SE "ADM" y próxima al Centro de Distribución Unilever Paraguay. El inmueble cuenta con acceso desde la Ruta Ypané-Villeta, asfaltada.

Después de la primera oferta, la Alternativa 2 se volvió a ofrecer a ATOME con la configuración que se muestra en la siguiente **Figura 3.1.1.1.b**. Como puede observarse, el terreno Padrón 8369 de este propietario se dividió en 7 fracciones, siendo la Fracción 1 con 18.64 ha, la Fracción 2 con 11.36 ha, las Fracciones 3, 4, 5 y 6 con 13.56 ha cada una y la Fracción 7 con 22.85 ha.

La Alternativa 2 finalmente comparada con las demás fue una unión de la Fracción 1 y la Fracción 2, con la siguiente configuración mostrada en la **Figura 3.1.1.1.c**.

Figura 3.1.1.1.a
Localización de las alternativas de terreno 1 a 3



Detalle 1

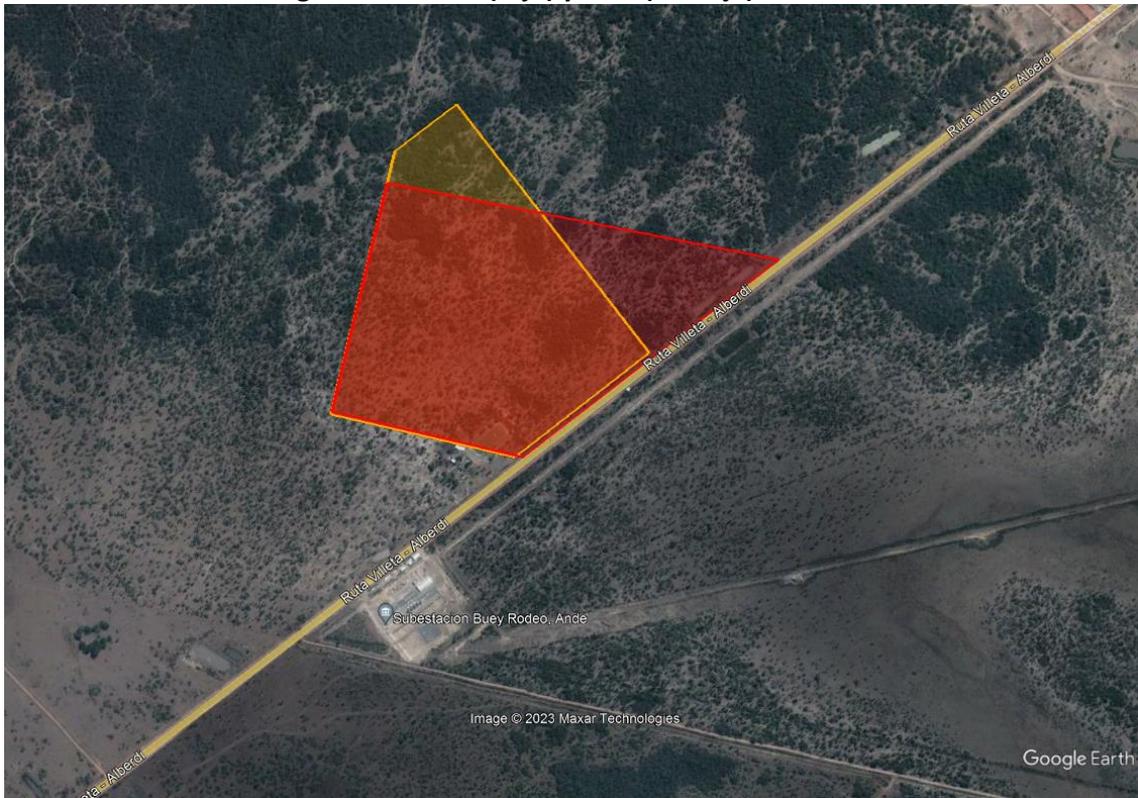


Detalle 2

Figura 3.1.1.1.b
 Alternativa 2 ofrecida finalmente a ATOME



Figura 3.1.1.1.c
Alternativa 2 en la configuración inicial (rojo) y final (naranja)



La siguiente **Tabla 3.1.1.1.a** muestra los datos sobre propietarios y superficie de las 3 alternativas de terrenos evaluadas.

Tabla 3.1.1.1.a
Datos de las alternativas de terreno evaluadas

Alternativas	Propietario	Superficie
1	El Arreglo S.A.	22 ha (5,200 m ²)
2	Monteclaro S.A.	30 ha (7,800 m ²)
3	CDD Construcciones S.A.	18 ha (8,800 m ²)

3.1.1.2 **Análisis Comparativo**

Uno de los criterios técnicos considerados en el análisis de los terrenos fue la disponibilidad de superficie y el formato de las parcelas para los equipos e infraestructura necesarios para la producción de CAN. Como puede observarse, las Alternativas 1 y 3 presentan una superficie mucho menor que la Alternativa 2. Aunque el *layout* de la Planta no cubre las 30 ha disponibles en la Alternativa 2, y debe construirse en una superficie de 24,75 ha correspondientes a las zonas A y B de la **Figura 2.7.2.1.a** de la **Sección 2.7.2.1**, el resto del terreno, donde se encuentra la mayor cantidad de bosque sub-húmedo existente en el terreno, en principio será conservado y solo será utilizado en última instancia, para ampliaciones futuras. En cuanto a las Alternativas 1

y 3, con superficies menores, se utilizaría casi todo el terreno (Alternativa 3) o la superficie sería insuficiente, lo que obligaría a compactar el *layout* (Alternativa 1).

Además, en las Alternativas 1 y 3 la disposición del terreno es alargada y poco profunda, lo que llevaría a las principales instalaciones de la Planta a estar demasiado cerca de la carretera.

Otro criterio evaluado fue el uso y ocupación del entorno de los terrenos. Como se ha observado, la Alternativa 3 se encuentra en una zona con un entorno inmediato desocupado, pero que está próxima a la sede del municipio de Villeta, rodeada de zonas urbanas y de expansión urbana. Por esta razón, se entiende que esta alternativa es más desventajosa que las otras, ya que las áreas ocupadas podrían expandirse en su dirección, aumentando el número de comunidades muy cercanas y que podrían ser susceptibles a molestias de una planta industrial, como el proyecto propuesto, principalmente en la fase de construcción. Las Alternativas 1 y 2, en cambio, se encuentran en una región con un entorno muy desocupado, con una única residencia rural en las proximidades.

Las Alternativas 1 y 3 tienen como ventaja su proximidad a la Subestación (SE), lo que reduciría en gran medida la longitud de la línea de transmisión (LT) que habría que construir. Sin embargo, esta proximidad también es desventajosa, ya que la configuración del terreno ocupa casi todo el entorno de la SE, principalmente en la Alternativa 3, que impediría una futura ampliación de la SE. Además, en ambos casos, el terreno ya está siendo cortado por LTs existentes, en el caso de la Alternativa 1, una LT de 220 kV.

En el caso de la Alternativa 1, la parte del terreno situada frente a los *bays* de entrada no podría ocuparse, lo que reduciría la superficie de terreno disponible que podrían ocupar las estructuras de la Planta. Por fin, es importante mencionar que en zona de la Alternativa 1 existe tubería de agua para el riego de plantaciones de arroz.

Las tres alternativas de localización del terreno de la Planta también se evaluaron en relación con aspectos del Medio Físico, tales como geología, hidrogeología, suelos, relieve e hidrografía. Las características de cada alternativa en relación con estos aspectos figuran en la **Tabla 3.1.1.2.a**, a continuación.

Tabla 3.1.1.2.a

Análisis comparativo de las Alternativas en relación con aspectos del Medio Físico

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Geología	Arenas, limos, arcillas, gravas y organismos conglomerados	Arenas, limos, arcillas, gravas y organismos conglomerados	Areniscas friables finas a medias
Unidades hidrogeológicas/ Productividad	Sedimento Cuaternario/ Normalmente baja pero localmente Moderada. Suministro de agua para satisfacer el abastecimiento local o el consumo privado.	Sedimento Cuaternario/ Normalmente baja pero localmente Moderada. Suministro de agua para satisfacer el abastecimiento local o el consumo privado.	Patiño-Caacupé/ Normalmente baja pero localmente Moderada. Suministro de agua para satisfacer el abastecimiento local o el consumo privado.

Tabla 3.1.1.2.a

Análisis comparativo de las Alternativas en relación con aspectos del Medio Físico

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Suelos	FLdy – Dystric Fluvisols Suelos desarrollados en depósitos fluviales, sin agua freática, a veces naturalmente inundados, adecuados para cultivos con riego controlado (poco fértil)	FLdy – Dystric Fluvisols Suelos desarrollados en depósitos fluviales, sin agua freática, a veces naturalmente inundados, adecuados para cultivos con riego controlado (poco fértil)	LPli-ACpl: Lithic Leptosols e Plintic Acrisols. Los Leptosols comprenden suelos muy delgados sobre roca y ricos en fragmentos gruesos. Los Acrisols son suelos ácidos con mayor contenido de arcilla en subsuperficie. Ambos son susceptibles a procesos de erosión cuando se exponen.
Altitudes en metros sobre el nivel del mar	Aproximadamente entre 61 e 65 m	Aproximadamente entre 62 e 67 m	Aproximadamente entre 64 e 81 m
Distancia más corta desde río principal	2.2 km de río Paraguay	2.0 km de río Paraguay	3.0 km de río Paraguay
Distancia más corta desde arroyos secundarios	7.6 km de Arroyo Paray y 7.2 de Arroyo Surubiy	7.3 km de Arroyo Paray y 7 km de Arroyo Surubiy	0.7 km de Arroyo Abay

Fuente: Google Earth Pro (GOOGLE, 2023); MADES (2022).

Observando la **Tabla 3.1.1.2.a**, se puede ver que, en términos de los aspectos de Medio Físico, las Alternativas 1 y 2 son equivalentes. A su vez, la Alternativa 3 tiene desventajas con respecto a las demás, excepto por la hidrogeología. Aunque la Alternativa 3 está ubicada en un área con un acuífero diferente, a saber, el sistema Acuífero Patiño/Caacupé, este tiene aproximadamente la misma clasificación de productividad que los acuíferos en el área de las Alternativas 1 y 2. Por otro lado, considerando que la Alternativa 3 tiene un entorno más urbanizado, hay mayor posibilidad de explotación del acuífero local.

Con respecto a la geología, si bien los terrenos de las Alternativas 1 y 2 también tienen capas arenosas, además de limo y arcilla, las areniscas mapeadas en el área de la Alternativa 3 son extremadamente friables y susceptibles a la erosión al exponerse en tramos del terreno. Los suelos mapeados en el área de la Alternativa 3 también son poco profundos y con diferenciación textural, lo que se traduce en una mayor susceptibilidad a la erosión, especialmente cuando están expuestos a la acción de la lluvia.

En cuanto al relieve, la Alternativa 3 presenta un mayor desnivel, ya que se encuentra en altitudes ubicadas entre 64 m y 81 m aproximadamente, resultando un desnivel máximo de 17 m entre los extremos del terreno. Así, en contraste con las Alternativas 1 y 2, que tienen desniveles menores a 5 m, para la Alternativa 3 sería mayor el movimiento de tierras, necesitando mayores cortes y área de deposición de tierra sobrante, o de mayor demanda de volúmenes de material prestado, cuyas áreas de extracción también pueden generar impactos ambientales relacionados.

Con respecto a la hidrografía, las tres alternativas se ubican a poca distancia del río Paraguay, estando las Alternativas 1 y 2 aproximadamente a 2.2 km y 2 km, respectivamente, de ese cuerpo de agua; y la Alternativa 3, a unos 3 km. De cualquier manera, teniendo en cuenta que se utilizará agua del río Paraguay, la Alternativa 2 está más cerca, presentando ventaja en este sentido.

Por otra parte, aunque ninguna de las alternativas se encuentra cerca de arroyos secundarios, la Alternativa 3 se encuentra a una distancia menor, a unos 0.7 km del Arroyo Abay, y las Alternativas 1 y 2 se ubican a 7 km de los Arroyos Surubiy y Paray. Así, para las Alternativas 1 y 2 se considera menor la posibilidad de ocurrencia de impactos indirectos en áreas hidrológicamente sensibles.

La **Tabla 3.1.1.2.b** presenta las características de las alternativas de terreno analizadas en relación con la cobertura vegetal y uso del suelo. Esta cuestión es importante, ya que será necesario suprimir la vegetación en unas 20 ha para instalar las estructuras de la Planta.

Tabla 3.1.1.2.b
Cobertura vegetal y uso del suelo

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Cobertura y uso actual (año 2023)	Sabanas hidro mórficas arboladas con palma negra o Karanda'y (<i>Copernicia alba</i>) e islas de bosques, con uso ganadero reciente, con algunas zonas más deprimidas que constituyen los drenajes naturales de los suelos arcillosos sobre relieve muy plano.	Sabanas hidro mórficas arboladas con palma negra o Karanda'y (<i>Copernicia alba</i>) e islas de bosques, con uso ganadero reciente, con muchas zonas más deprimidas que constituyen los drenajes naturales de los suelos arcillosos sobre relieve muy plano.	En 2023 la fracción estaba ocupada con arrozales cultivados, sobre parcelas inundadas con taipas alrededor, construidas anteriormente, muy probablemente entre 2020 y 2022, pues estaban cubiertas por cultivo de arroz en etapa de crecimiento.

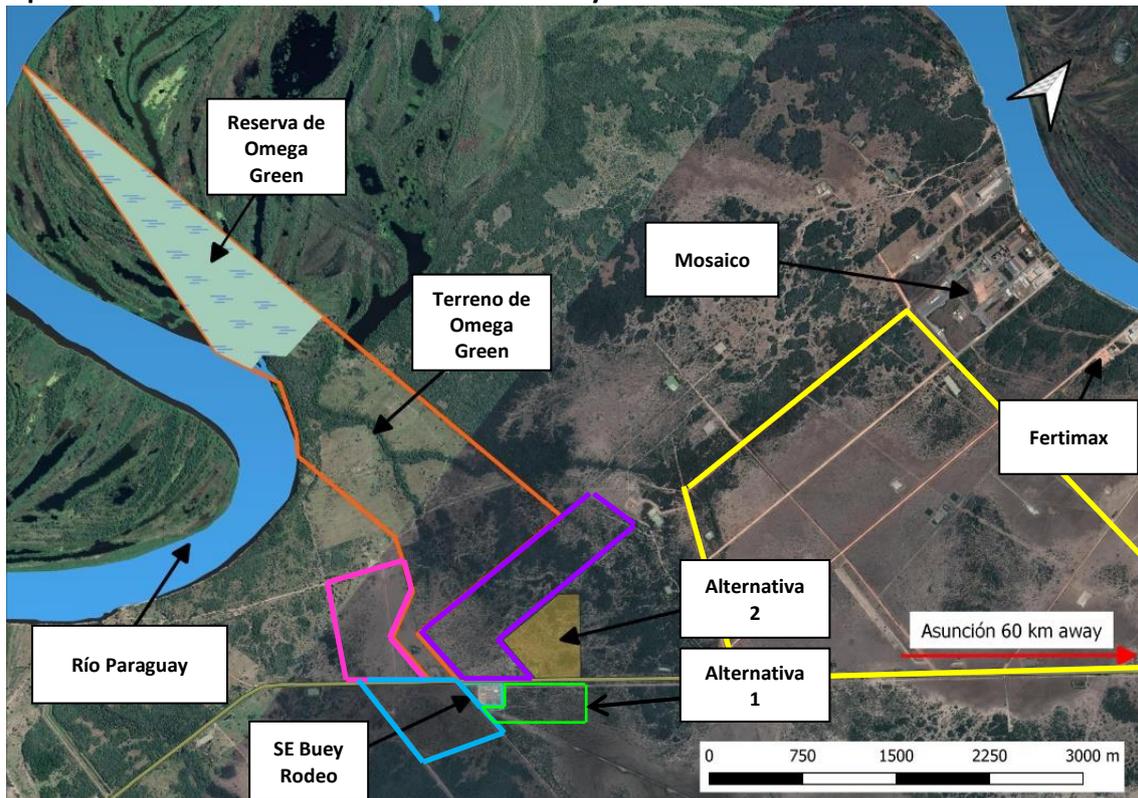
Se puede observar que, desde el punto de vista de la vegetación, la Alternativa 3 es más ventajosa, al tener un uso agrícola, mientras que las otras dos son áreas ya utilizadas como pasto, pero que tienen vegetación nativa.

En cualquier caso, comparando las Alternativas 1 y 2, se observa que la Alternativa 2 presenta una ventaja, ya que dispone de una superficie sobrante en relación con las necesidades del proyecto, que podría conservarse. En la Alternativa 1, con 22 ha, todo el terreno estaría ocupado por las estructuras del proyecto, e incluso habría que comprimir el layout.

En los alrededores de la Alternativa 2, en el lado noreste existen terrenos más cercanos, pero con características similares a la Alternativa 2, y otros más antropizados, pero más alejados de la SE Buey Rodeo (ver polígono amarillo en la **Figura 3.1.1.2.a**), aumentando la longitud de la LT a ser construida, además de no estar a la venta.

En el lado suroeste, está el terreno del propietario vecino (ver polígono morado en la **Figura 3.1.1.2.a**), donde está la única residencia existente en esta zona, seguido de parte del terreno de la empresa Omega Green (ver polígono rojo). Las otras opciones existentes en dirección al río Paraguay tienen condiciones similares a las del terreno de la Alternativa 2.

Figura 3.1.1.2.a
Opciones de terreno cerca de las Alternativas 1 y 2



Teniendo en cuenta las razones expuestas, se ha elegido la Alternativa 2 como la más ventajosa.

3.1.2 Alternativas de Trazado para la Línea de Transmisión

3.1.2.1 Alternativas Evaluadas

Elegida la Alternativa 2 para el terreno donde se construirá la Planta, se estudiaron las alternativas de trazado de la Línea de Transmisión (LT) que une la Subestación (SE) Buey Rodeo, de la ANDE, a la SE de la Planta.

Se evaluaron tres alternativas, las cuales se muestran en la **Figura 3.1.2.1.a**, a continuación.

Figura 3.1.2.1.a
Alternativas de trazado para la LT



Leyenda:

- Alternativa 1
- Alternativa 2
- Alternativa 3

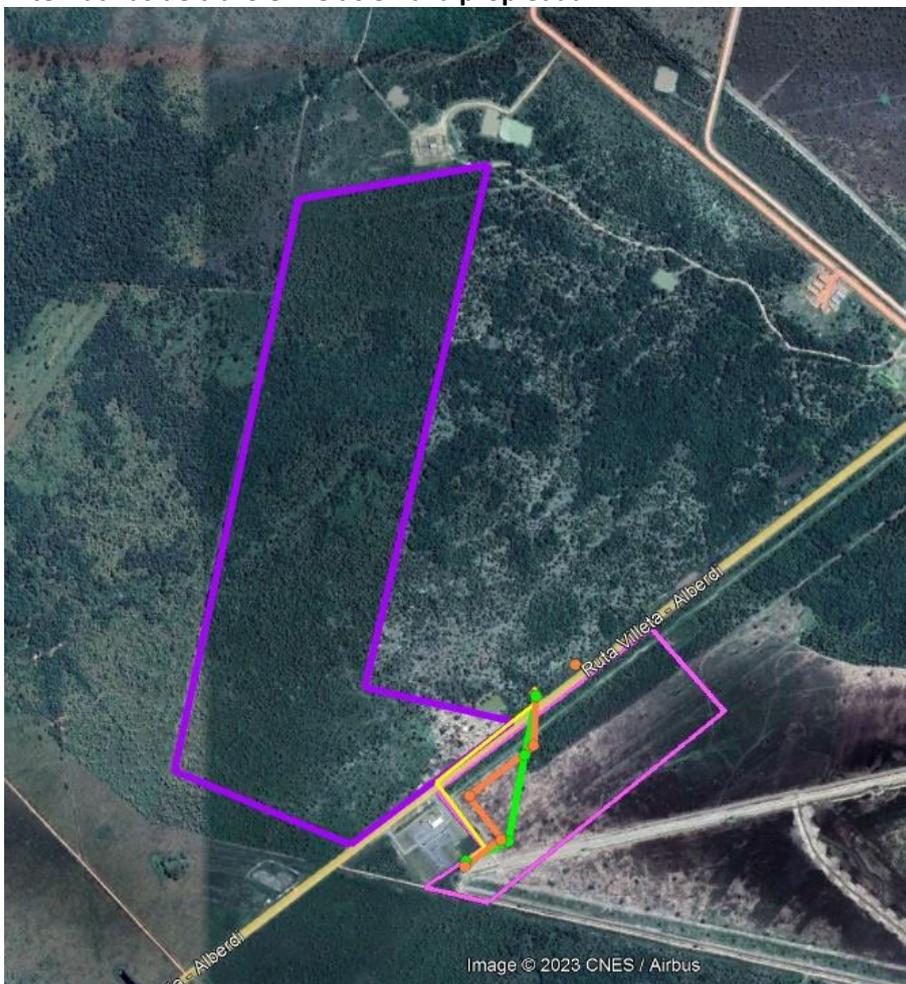
La Alternativa 1, en amarillo, sale de la SE Buey Rodeo en dirección noreste, se desvía hacia el noroeste inmediatamente después y continúa muy cerca la cara este de la SE, cruzando la LT de 66 kV existente (en azul en la **Figura 3.1.2.1.a**) y en seguida la carretera. En este punto se desvía nuevamente hacia el noreste y continúa por cerca de 370 m en la franja de dominio de la carretera, bordeando el límite externo del terreno contiguo al de la planta, desviándose nuevamente hacia el noreste para para llegar a la SE.

La Alternativa 2, de color naranja, sale de la SE Buey Rodeo también en dirección noreste, pero sigue un tramo algo más largo en esta dirección, desviándose también hacia el noroeste y siguiendo en esta dirección un poco más lejos de los límites de la SE durante unos 150 m hasta desviarse de nuevo hacia el noreste y seguir durante otros cerca de 225 m en paralelo a la LT de 66 kV existente. En este punto se desvía hacia el norte, cruza la LT de 66 kV y la carretera y continúa hasta el terreno de la planta, teniendo que realizar una nueva desviación hacia el noroeste para llegar a la SE.

La Alternativa 3, en verde en la **Figura 3.1.2.1.a**, sale de SE Buey Rodeo casi en la misma dirección que las otras alternativas, y después de unos 130 m desvía hacia el noreste, siguiendo directamente al punto de entrada en el sitio de la planta, cruzando la LT de 66 kV y la carretera en ángulo distinto de 90°.

Las Alternativas 2 y 3 se encuentran dentro de la misma propiedad (**Figura 3.1.2.1.b**), la Fracción 1B que se muestra en la **Figura 3.1.2.1.b** en la **Sección 3.1.1.1**, con 22.52 ha, de propiedad de El Arreglo S.A. La Alternativa 1 también atraviesa esta misma propiedad hasta el punto en que cruza la carretera, siguiendo después por el derecho de paso de la carretera, cerca del límite de la finca vecina a la planta.

Figura 3.1.2.1.b
Alternativas de trazo en relación a la propiedad



- Leyenda:**
- Alternativa 1
 - Alternativa 2
 - Alternativa 3
 - Fracción 1B, con superficie de 22.52 ha
 - Límite de la finca vecina

3.1.2.2
Análisis Comparativo

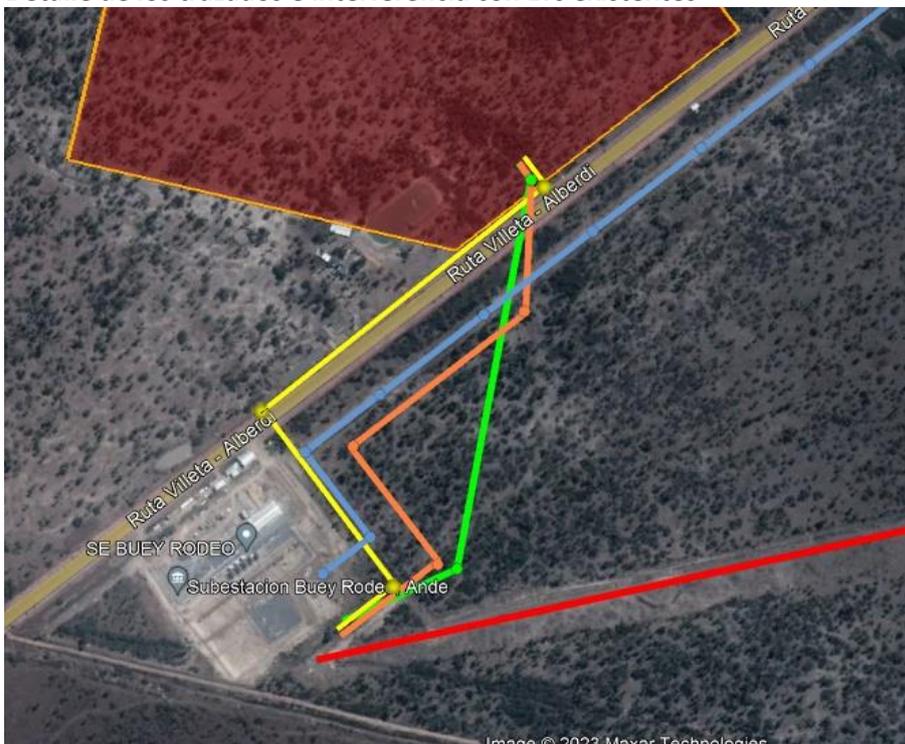
En la **Tabla 3.1.2.2.a** se compara la longitud y el número de vértices de las 3 alternativas de trazado evaluadas. Como puede verse, la Alternativa 3 es la más corta y tiene menos vértices. Además, tiene la ventaja de realizar las desviaciones en un ángulo más favorable que las otras dos, que realizan desviaciones a 90°.

Tabla 3.1.2.2.a
Longitud y número de vértices de las Alternativas

Trazado	Longitud	Numero de vértices
Alternativa 1	~ 692 m	3
Alternativa 2	~ 642 m	4
Alternativa 3	~ 550 m	2

Como se muestra en la **Figura 3.1.2.1.c** y ya comentado en la Sección anterior, los tres trazados necesitan cruzar la LT de 66 kV existente, que se muestra en azul en la figura. Ningún de los trazados necesita cruzar la LT de 220 kV existente, en rojo.

Figura 3.1.2.1.c
Detalle de los trazados e interferencia con LTs existentes



Leyenda:

- Alternativa 1
- Alternativa 2
- Alternativa 3
- LT 66 kV existente
- LT 220 kV existente

Los tres trazados atraviesan zonas llanas y no inundadas y no interfieren con mejoras, áreas protegidas o grandes fragmentos de vegetación.

Comparando las alternativas en relación a las interferencias con algunas de las categorías de uso del suelo más importantes resultantes del mapeo realizado en el área de influencia directa del proyecto (ver **Figura 3.1.2.1.d**), se constata que la Alternativa 1 es la que más atraviesa áreas antropizadas, con un recorrido en este uso casi tres veces mayor que las otras dos alternativas. Las Alternativas 2 y 3 interceptan menos áreas de uso antrópico, pero esto no se reflejó en un mayor impacto sobre la vegetación nativa, ya que los tres trazados interfieren con la Sabana en cantidades similares, ligeramente superior en la Alternativa 2, como se muestra en la **Tabla 3.1.2.2.b**.

Figura 3.1.2.1.d
Uso y ocupación del suelo a lo largo de las Alternativas de trazado para la LT



Leyenda:

SA - Vegetación nativa - Sabana
CA - Cultivo de arroz

US – Uso silvopastoril
UA – Uso antrópico

La Alternativa 1, desviándose hacia el noroeste justo después de salir de la SE y siguiendo paralela a la subestación hasta cruzar la carretera, evita las áreas de cultivo de arroz y atraviesa básicamente áreas antropizadas y pequeñas áreas de sabana. Este trazado, siendo el único que conduce a la planta en el borde noroeste de la carretera, es la alternativa que más se acerca de la vivienda del vecino. Con esta proximidad entre los frentes de trabajo para la implantación de la LT y la residencia, esta alternativa es la más desfavorable en relación con el riesgo de impactos

y molestias para estos residentes, como los causados por las emisiones de ruido y polvo, y los que puedan derivarse del contacto con los trabajadores.

Tabla 3.1.2.2.b

Área (ha) de intercepción de los diferentes usos del suelo por la franja de servicio (6 m) de las Alternativas

Trazado	Usos antrópicos	Sabana	Cultivo de arroz
Alternativa 1	0.34	0.06	0.00
Alternativa 2	0.09	0.08	0.22
Alternativa 3	0.1	0.06	0.17

En vista de lo anterior, el trazado elegido para la LT fue la Alternativa 3 (verde).

3.1.3

Alternativas de Trazado para las Tuberías de Agua y Efluentes Tratados

3.1.3.1

Alternativas Evaluadas

Se evaluaron tres trazos alternativos para el paso de las tuberías de agua y efluente tratado, que conectarán el terreno de la planta con el río Paraguay, donde se captará el agua para el proceso y se verterá el efluente tratado. La **Figura 3.1.3.1.a** muestra las 3 alternativas evaluadas, que se describen a continuación.

- Alternativa 1 (en verde en la **Figura 3.1.3.1.a**) – trazo que sigue en dirección suroeste, luego se desvía hacia el noroeste y luego hacia el oeste, hasta llegar al punto en el río Paraguay donde está planificada la captación de agua y el vertido de efluentes, en las coordenadas UTM 427,052.08 m E y 7,156,478.89 m S. Esta ruta sigue dentro del predio donde se proyecta la planta de producción de biocombustibles Omega Green, siguiendo el borde del terreno, atravesando principalmente las áreas verdes proyectadas (ver detalle 2 de la **Figura 3.1.3.1.a**).
- Alternativa 2 (en azul en la **Figura 3.1.3.1.a**) - trazo que sigue en dirección predominantemente suroeste, atravesando parte de las instalaciones previstas para la planta Omega Green, pero luego sale del área de este proyecto y recorre otra propiedad hasta llegar al punto de captación y vertido del efluente en el río Paraguay, en las coordenadas UTM 427,219.50 m E y 7,155,988.00 m S.
- Alternativa 3 (en rojo en la **Figura 3.1.3.1.a**) - trazo que sigue hacia el norte, evitando el área del proyecto Omega Green. Sigue paralela a un camino rural y al límite externo de la propiedad del Complejo Industrial de Producción de Biocombustibles/ECB Group, hasta llegar al punto donde el efluente es recolectado y descargado en el Río Paraguay, en las coordenadas UTM 430,099.45 m E y 7,161,869.49 m S.

Figura 3.1.3.1.a

Alternativas de trazo evaluadas para las tuberías de agua y efluente



Leyenda:

- | | |
|---|---------------|
|  | Alternativa 1 |
|  | Alternativa 2 |
|  | Alternativa 3 |

3.1.3.2

Análisis Comparativo

Se utilizaron tres conjuntos de criterios diferentes para comparar las alternativas. Son los siguientes:

- Criterio hidráulico: consiste en evaluar las pérdidas de carga, velocidades, dimensiones de tuberías y potencia de bomba que cada alternativa requiere;
- Criterio social: se refiere a la cantidad de propiedades que cada trazo atraviesa;
- Criterio ambiental: evalúa la sensibilidad ambiental de las áreas atravesadas por cada trazo.

Con el fin de comparar los trazos según cada grupo de criterios anteriores, se recogió algunas informaciones sobre cada alternativa, que se muestran en la **Tabla 3.1.3.2.a** a continuación:

Tabla 3.1.3.2.a

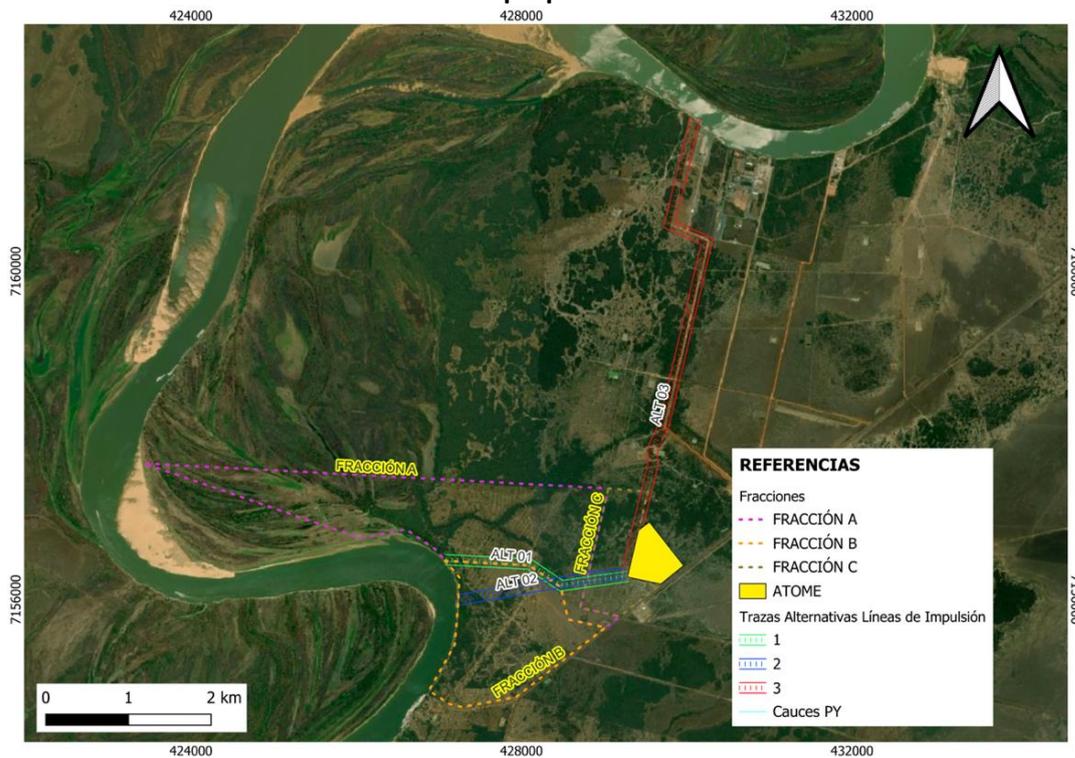
Análisis comparativo entre las alternativas

	Longitud (m)	Cantidad de propiedades que atraviesa	Cantidad de cauces que atraviesa	Extensión de bosque que atraviesa (m)
Alternativa 1	2,297.20	2	0	266.58
Alternativa 2	2,026.80	3	0	531.81
Alternativa 3	6,015.72	más de 3	1	3,374.34

Como se observa en la **Tabla 3.1.3.2.a**, en lo referente al parámetro longitud, las Alternativas 1 y 2 son similares, con una longitud entre 2 y 2.3 km, mientras que la Alternativa 3 es prácticamente tres veces más larga que las anteriores. La mayor longitud de la alternativa 3 en comparación con las demás tiene la desventaja de que las pérdidas de carga por fricción serán considerablemente superiores en este trazo, lo cual implica mayor potencia de bomba, mayor uso de energía/combustible, y por ende costos más elevados.

Si se considera el parámetro relativo al número de propiedades atravesadas, se produce la misma situación. La Alternativa 1 atraviesa principalmente la Fracción A que se muestra en la **Figura 3.1.3.2.a** a continuación, de propiedad de la empresa Omega Green, además de una pequeña extensión de terreno justo después de salir del terreno de la Planta, de propiedad de Jörn Wenger, el mismo propietario de la Fracción B que también se muestra en la figura.

Figura 3.1.3.2.a
Alternativas de trazo en relación con las propiedades atravesadas

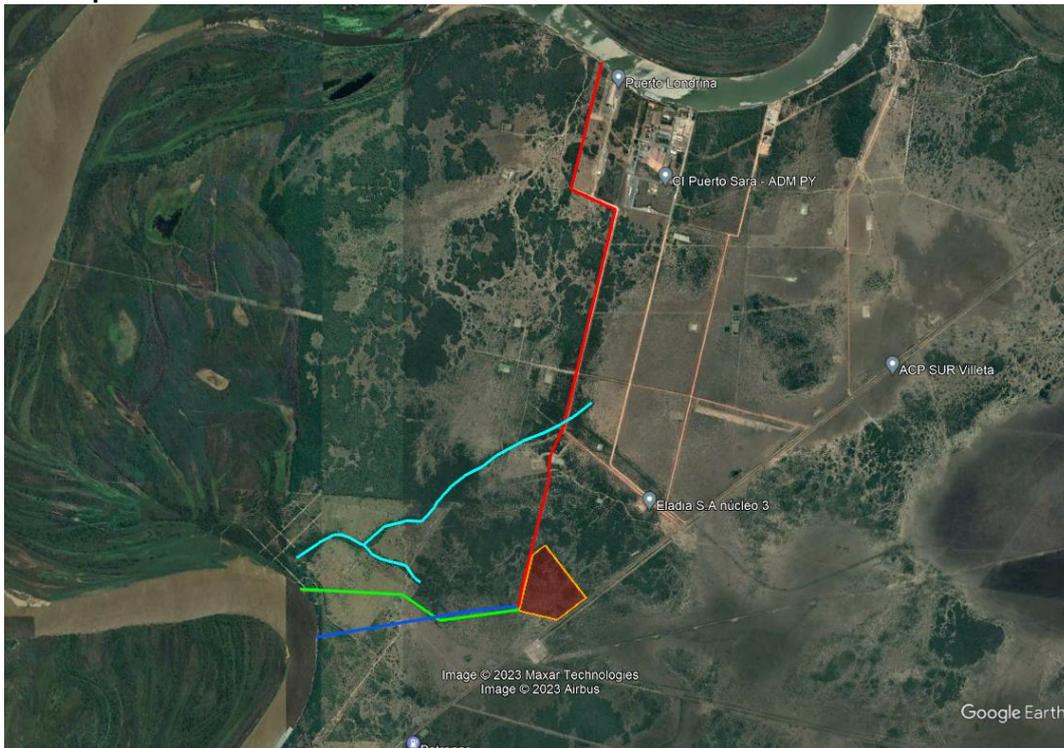


Fuente: Alternativas de Trazados de Líneas de Impulsión de Extracción de Agua del Río Paraguay y Retorno se Agua Tratada. Informe.

La Alternativa 2, por otro lado, cruza también esa pequeña extensión de terreno de Jörn Wenger y después las Fracciones A y B. La Alternativa 3, a su vez, debido a su mayor longitud, cruzaría una gran cantidad de propiedades.

Además de las deficiencias ya mencionadas de la Alternativa 3, también hay que considerar el hecho de que atravesaría un arroyo o nacimiento más o menos a la mitad de su recorrido, situación que no se observa para las Alternativas 1 y 2, como muestra la **Figura 3.1.3.2.b**.

Figura 3.1.3.2.b
Intercepción de la Alternativa 3 con un cauce o nacimiento



- Leyenda:
- Alternativa 1
 - Alternativa 2
 - Alternativa 3
 - Cauce o nacimiento

Como ya mencionado en la **Tabla 3.1.3.2.a**, la Alternativa 3 atraviesa áreas más sensibles desde el punto de vista de la interferencia con la vegetación nativa. Como se puede observar en la siguiente **Tabla 3.1.3.2.b**, en la que se muestran en detalle los datos cuantitativos de las diferentes categorías de uso y ocupación del suelo a lo largo del trazado de cada una de las alternativas, la interceptación del bosque subhúmedo en la Alternativa 3 es 12.5 veces mayor que en la Alternativa 1, y algo más de 6 veces mayor que en la Alternativa 2. Considerando la interceptación de Sabana, la Alternativa 2 es la más ventajosa, con un 17% menos de intervención que en la Alternativa 1 y un 9% menos que en la Alternativa 3.

Tabla 3.1.3.2.b

Uso y ocupación del suelo a lo largo de las alternativas

Categorías	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	Ext. (m)	Ext. (%)	Ext. (m)	Ext. (%)	Ext. (m)	Ext. (%)
Bosque sub-húmedo	266.58	12%	531.81	26%	3,374.34	56%
Sabana	1,111.52	48%	918.42	45%	1,011.52	17%
Otros usos antrópicos	919.09	40%	576.57	28%	1,629.86	27%
Total	2,297.20	100%	2,026.80	100%	6,015.72	100%

Considerando conjuntamente los dos tipos de vegetación nativa, se observa que la Alternativa 1 es la más ventajosa, con un total de 1,378.1 m o el 60% del trazo, seguida de la Alternativa 2, con 1,450.23 m o el 71% del trazo. La peor en este sentido es sin duda la Alternativa 3, con un 73% de su trazo interceptando vegetación nativa, y de este total, un 56% es bosque subhúmedo. En el caso de las otras dos, la interferencia con el bosque representa el 12% y el 26% del trazo, respectivamente.

La Alternativa 1 es el trazo que buscó interferir con áreas antrópicas lo máximo posible, con un 40% del recorrido en esta categoría, mientras que las Alternativas 2 y 3 tienen un 28% y un 27%, respectivamente.

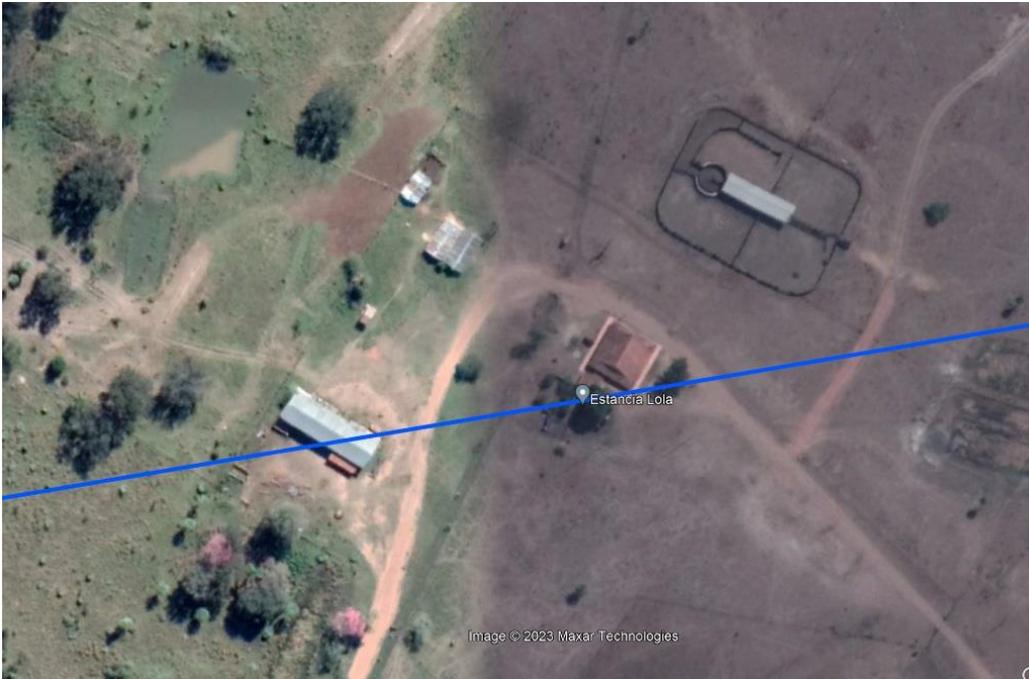
En vista a lo expuesto, se descartó la Alternativa 3, quedando solamente como opciones las Alternativas 1 y 2.

Como mencionado, los trazos de las Alternativas 1 y 2 son muy similares en longitud y consecuentemente en costos y requerimientos de bombeo. Si bien la Alternativa 1 es ligeramente más larga que la Alternativa 2, dicha variación es menor y no generaría un cambio en los requerimientos de bombeo (potencia de bomba) y pérdidas de carga.

Ambos trazos no atraviesan cuerpos de agua ni interfieren con vegetación de bosque sub-húmedo, interceptando solo vegetación de sabana.

Por lo tanto, el parámetro decisivo en la elección del trazo fue la cantidad de propiedades que atraviesan ambas alternativas y la interferencia con mejoras. Se eligió la Alternativa 1 porque se presenta más favorable al atravesar solamente un sector de la propiedad de Jörn Wenger y solo una sección de la fracción A, luego se conduce por el lindero hasta el río Paraguay. De esta forma, aunque parte de la franja de servidumbre se superponga a la Fracción B, todas las obras se realizarán únicamente dentro de la Fracción A. Además de esto, en trazo adoptado por la Alternativa 1 no se interfiere directamente ni se aproxima a viviendas ni a ningún otro tipo de mejora rural. La Alternativa 2 a su vez atraviesa la propiedad de Wenger, y las fracciones A y B, con las obras afectando a las tres propiedades. Además, este trazo de la Alternativa 2 afecta directamente a una vivienda y un galpón de la propiedad Estancia Lola (ver **Figura 3.1.3.2.c**).

Figura 3.1.3.2.c
Interferencia de la Alternativa 2 con mejoras



Leyenda:



Alternativa 2

Como se mencionó al principio de esta sección, al cruzar la fracción A, tanto la Alternativa 1 como la Alternativa 2 cruzan el área donde está planeada la planta de biocombustibles Omega Green, como se muestra en la **Figura 3.1.3.2.d** a continuación. Mientras que la Alternativa 1 sólo pasa por zonas verdes (detalles 1 y 2 de la Figura) y por debajo de la caseta de recepción y seguridad (número 12 en el detalle 1 de la Figura), la Alternativa 2, aunque atraviesa un tramo más pequeño del área del proyecto, cruza precisamente donde están previstas las estructuras del sistema hidrosanitario (40), el área de recepción y expedición (4), el sector de facturación y oficina de embarque (19) y el edificio de recepción de camiones (23) (ver detalle de la Figura).

Figura 3.1.3.2.d
Alternativas 1 y 2 con relación al proyecto de la Planta Omega Green

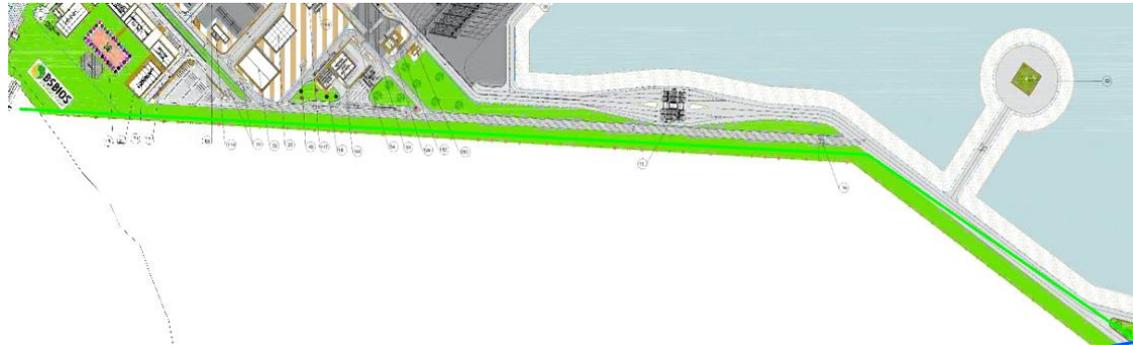


Detalle 1



Figura 3.1.3.2.d
Alternativas 1 y 2 con relación al proyecto de la Planta Omega Green

Detalle 2



Leyenda:

- | | |
|---|---------------|
|  | Alternativa 1 |
|  | Alternativa 2 |

Sobre la base de lo anterior, teniendo en cuenta los criterios técnicos, financieros, sociales y ambientales, se seleccionó la Alternativa 1 para el corredor de las tuberías de agua y efluentes.

3.2 Alternativas Tecnológicas y Económicas

Los estudios de alternativas tecnológicas y económicas se realizaron para los siguientes elementos del proceso:

- Electrólisis de H₂
- Recuperación de productos del aire
- Síntesis de NH₃
- Almacenamiento de CAN
- Sistema de refrigeración
- Tratamiento del agua
- Fuente de agua para el proceso

Para los procesos de producción de Ácido Nítrico (AN), de solución de Nitrato de Amonio (SNA) y de Granulación (GRAN) no se evaluaron alternativas, ya que las adoptadas en el Proyecto son las mejores disponibles en términos técnicos, ambientales y económicos. En las **Secciones 2.6.1** y **2.6.2** del presente EIAS se describen las tecnologías adoptadas para los procesos mencionados.

3.2.1

Alternativas de Tecnologías de Electrólisis de H₂

3.2.1.1

Tecnologías Evaluadas

Las alternativas tecnológicas de electrólisis de H₂ evaluadas fueron:

- Membrana Electrolítica Polimérica (MEP) Presurizada
- MEP Atmosférica
- Alcalina Presurizada
- Alcalina Atmosférica
- Pila Electrolizadora de Óxido Sólido (PEOS)
- Membrana de Intercambio Aniónico (MIA)

Membrana electrolítica polimérica (MEP) presurizada

La electrólisis de agua por membrana electrolítica polimérica (MEP) es un proceso de descomposición / disociación del agua en sus moléculas elementales (H₂ y O₂) en una célula equipada con un electrolito polimérico sólido que se encarga de la conducción de protones, la separación de los gases producto y el aislamiento eléctrico de los electrodos. La reacción es una mejora de la electrólisis alcalina tradicional que evita el uso de electrolito, produciendo hidrógeno bruto más puro con una eficacia ligeramente superior.

La reacción se produce en una pila de electrólisis presurizada y (normalmente a 30 barg), lo que reduce las dimensiones totales del equipo (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.a**) y evita o reduce los requisitos de compresión posteriores.

Figura 3.2.1.1.a

Ejemplo de pilas de electrolizadores MEP presurizados

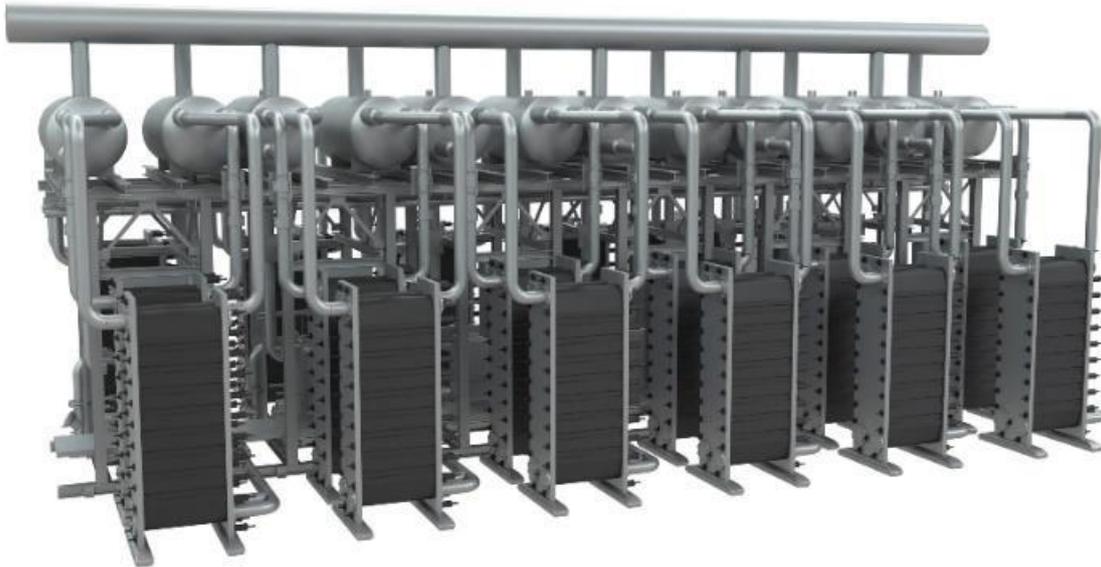


Fuente: <http://itm-power.com>.

MEP atmosférica

La misma tecnología que la MEP presurizada, con la diferencia de que la reacción se produce en una pila de electrólisis no presurizada (normalmente a presión atmosférica), lo que aumenta las dimensiones totales del equipo (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.b**) y suele requerir una unidad de compresión de hidrógeno de salida.

Figura 3.2.1.1.b
Ejemplo de pilas de electrolizadores MEP atmosféricos



Fuente: <https://new.siemens.com/>

Alcalina presurizada

La electrólisis alcalina del agua es un proceso de descomposición / disociación del agua en sus moléculas elementales (H_2 y O_2) por la acción de una corriente eléctrica. Para que esto sea posible, el agua desmineralizada debe estar en contacto con un electrolito que favorezca la circulación de electrones a través del fluido (normalmente KOH o NaOH).

El electrolito no se consume directamente, sino que se recupera durante el proceso y se reinyecta en un circuito cerrado.

La reacción ocurre en una pila de electrólisis presurizada (típicamente entre 15 y 30 barg dependiendo del fabricante), reduciendo las dimensiones totales del equipo (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.c**), y evitando o reduciendo los requerimientos de compresión posteriores.

Las corrientes finales de H_2 y O_2 circulan por separado a través de una unidad diferente de separación y purificación para reducir el contenido de impurezas del electrolito y condensar cualquier traza de agua con el objetivo de obtener corrientes más puras.

Figura 3.2.1.1.c
Ejemplo de pila de electrolizadores ALK presurizados



Fuente: <https://www.longi.com/>

Alcalina atmosférica

Misma tecnología que la alcalina presurizada, con la diferencia de que la reacción se produce en una pila de electrólisis no presurizada (normalmente a presión atmosférica), lo que aumenta las dimensiones totales del equipo (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.d**) y suele requerir una unidad de compresión de hidrógeno de salida.

Figura 3.2.1.1.d
Ejemplo de electrolizador atmosférico ALK



Fuente: www.thyssenkrupp.com

Pila electrolizadora de óxido sólido (PEOS)

Una PEOS es una pila de combustible de óxido sólido que funciona en modo regenerativo para lograr la electrólisis del agua utilizando un electrolito de óxido sólido, o cerámico, para producir

hidrógeno gaseoso y oxígeno. La reacción se produce a alta temperatura (500 - 850 °C). El vapor separado, sin reaccionar, se recicla de nuevo a las pilas de electrólisis.

La PEOS es uno de los métodos más prometedores de producción de hidrógeno debido a la alta eficiencia de la conversión y al relativamente bajo aporte energético necesario en comparación con otras tecnologías maduras.

Los modelos comerciales actuales de PEOS (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.e**) experimentan problemas de funcionamiento y baja disponibilidad. La tecnología se está mejorando.

Figura 3.2.1.1.e
Ejemplo de electrolizador PEOS piloto



Fuente: www.sunfire.de

Membrana de intercambio aniónico (MIA)

La electrólisis con MIA es la electrólisis del agua que utiliza una membrana semipermeable que conduce iones de hidróxido (OH-) denominada membrana de intercambio aniónico. Al igual que una membrana de intercambio de protones (MEP), la membrana separa los productos, proporciona aislamiento eléctrico entre los electrodos y conduce los iones.

La MIA se considera una solución intermedia prometedora (en cuanto a coste y rendimiento) entre la alcalina y la MEP.

A diferencia de la MEP, la MIA conduce iones de hidróxido. La principal ventaja de la electrólisis del agua MIA es que no se necesita un catalizador de metal noble de alto coste, sino un catalizador de metal de transición de bajo coste.

La electrólisis MIA es similar a la electrólisis del agua alcalina, que utiliza un separador no selectivo de iones en lugar de una membrana de intercambio aniónico. Los modelos comerciales

actuales de MIA (ver ejemplo en la **Figura 3.2.1.1.f**) sólo son adecuados para aplicaciones a pequeña escala. La tecnología de aumento de tamaño está en fase de desarrollo.

Figura 3.2.1.1.f
Concepto de electrolizador MIA



Fuente: www.enapter.com

3.2.1.2
Análisis Comparativo

Después de la evaluación de las tecnologías maduras disponibles a gran escala, la electrólisis alcalina presurizada se seleccionó como la solución más rentable, con precio reducido, alta confiabilidad, tecnología probada a gran escala y requisitos de carga eléctrica de compresión reducida.

El resultado del estudio comparativo es el siguiente:

Figura 3.2.1.2.a
Eficiencia BoL de las diferentes tecnologías de electrolizadores

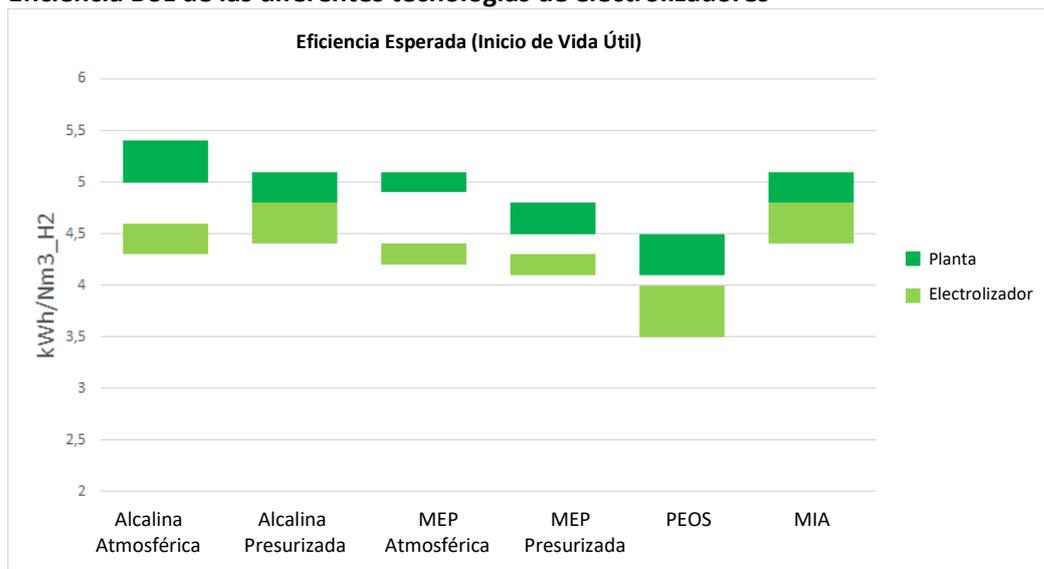
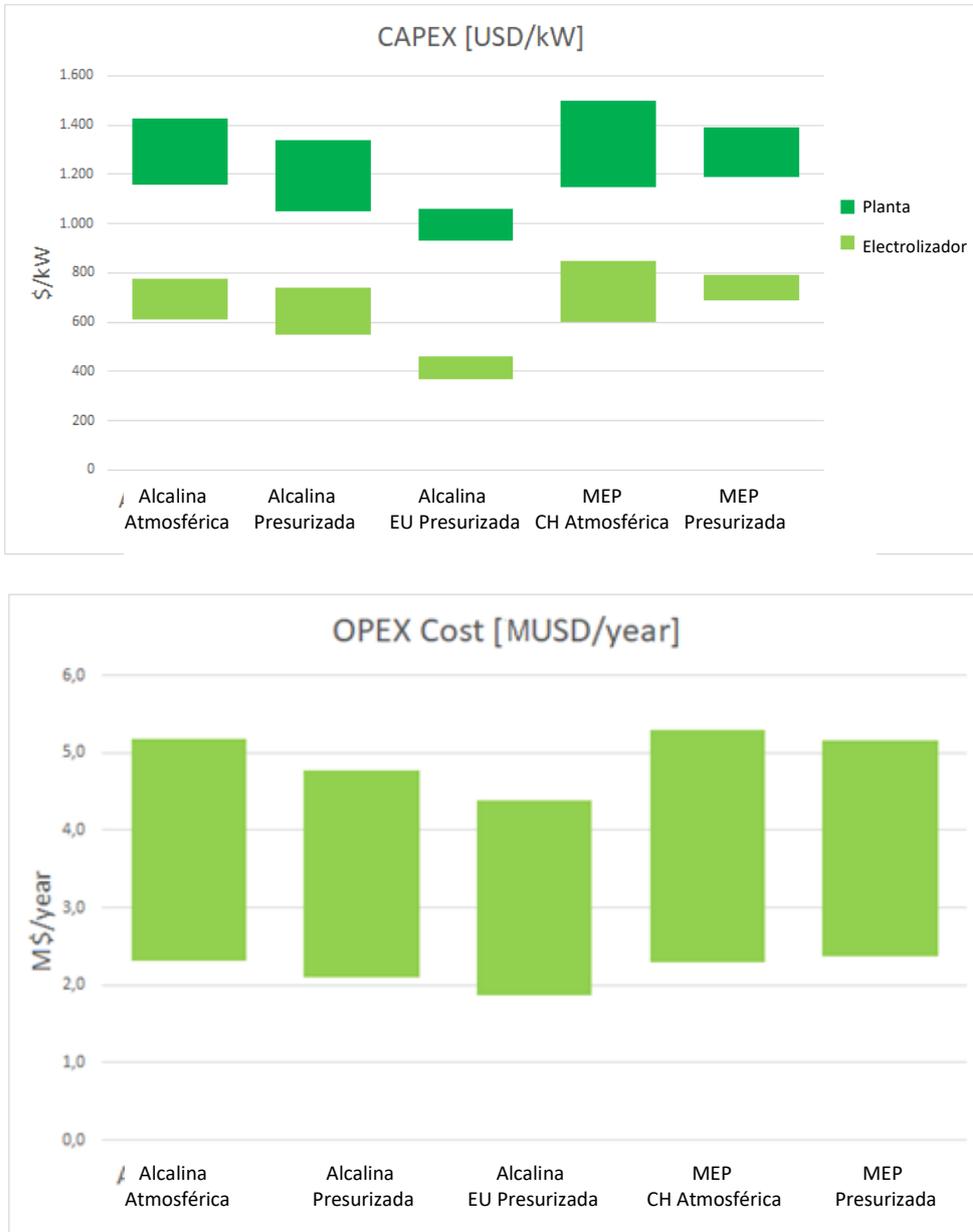


Figura 3.2.1.2.b
CAPEX y OPEX de las diferentes tecnologías de electrolizadores para el proyecto Villeta



La electrólisis del agua alcalina es una tecnología madura para producir hidrógeno utilizando electricidad y es perfectamente adecuada para la entrada de energía de carga base. La tecnología alcalina se ha utilizado durante más de un siglo en su versión atmosférica, y durante dos décadas en su versión presurizada.

3.2.2

Alternativas de Recuperación de Productos del Aire

3.2.1.1

Opciones Evaluadas

Las opciones de recuperación fueron evaluadas para los siguientes productos del aire:

- Oxígeno a partir de electrólisis
- Aire de proceso enriquecido con oxígeno a partir de la Unidad de Separación de Aire (USA)
- Aire de proceso enriquecido con argón a partir de la ASU

Oxígeno a partir de electrólisis

Los electrolizadores de la planta producen:

- Caudal de O₂ bruto: 16,200 kg/h de oxígeno crudo
- Presión de O₂: 15~30 bar
- Pureza del O₂: 98.5% (típico)

El oxígeno se ventila a la atmósfera, sin embargo, el diseño preverá la asignación de espacio para los futuros equipos necesarios para purificar y secar, comprimir y almacenar o suministrar por tubería el oxígeno producido.

Opcionalmente, puede instalarse una unidad de licuefacción para producir oxígeno líquido (LOx).

Los contaminantes del oxígeno pueden eliminarse mediante una Unidad DeOxo-Secadora.

Tras la purificación, el oxígeno tendrá la siguiente pureza:

- Pureza del O₂: > 99.99 % en peso
- Contaminantes: H₂ y H₂O

Oxígeno a partir de la unidad de separación de aire (USA)

La USA de la Planta estará preparada para producir oxígeno como subproducto del proceso. La USA propuesta produce aire bruto sin nitrógeno, y no es capaz de producir oxígeno ya que se necesita una nueva etapa de separación y no está incluida en el diseño.

La USA de la Planta puede producir:

- Caudal de O₂: >2,800 kg/h
- Presión de O₂: 6 bar
- Pureza del O₂: > 99.9 % en peso
- Contaminantes: H₂O, N₂ y Ar

La disposición proporcionará espacio para los futuros equipos necesarios para añadir una nueva etapa de separación en la USA, purificar y secar, comprimir y almacenar o suministrar por tubería el oxígeno producido.

Como opción, se puede proporcionar una unidad de licuefacción para producir oxígeno líquido (LOx). Esta unidad puede compartirse con la Planta de licuefacción de oxígeno de la Planta electrolizadora.

Oxígeno de USA y Electrólisis combinados

Como combinación de los sistemas anteriores de recuperación de O₂, se puede proporcionar una planta de licuefacción común para recuperar un total de 19,000 kg/h (2800 kg/h de USA y 16,200 kg/h de electrólisis).

La USA requerirá una nueva columna de destilación, y la planta de electrólisis requerirá una nueva unidad de purificación de O₂ nueva. La etapa de licuefacción, almacenamiento y exportación se comparte para ambos flujos.

Argón a partir de la ASU

La USA produce argón como subproducto del proceso. No obstante, el diseño no contempla una etapa de separación del argón por lo cual la Planta no estará preparada para producir Argón como producto.

Las características del Argón generado son:

- Caudal de O₂: a definir.
- Presión de O₂: 6 bar (preliminar)
- Pureza del O₂: > 99.995 % en peso
- Contaminantes: H₂O y O₂

3.2.1.2

Análisis Comparativo

Costes de inversión (CAPEX)

El alcance de la evaluación considera:

Costo no. 1 - Recuperación de O₂ de electrolizadores:

- Secador de O₂ DeOxo (unidad de purificación)
- Unidad de licuefacción de O₂ y tanques de almacenamiento de O₂ líquido, tipo cilindro vertical
- Almacenamiento de LO₂
- Terminal de exportación de LO₂
- Tuberías, cableado, instrumentos y sistema de control

Costo nº 2 - Recuperación de O₂ de USA:

- Unidad de etapa de separación de O₂ de USA (columna de destilación adicional)
- Unidad de licuefacción de O₂ y tanques de almacenamiento de O₂ líquido, tipo cilindro vertical
- Almacenamiento de LO₂
- Terminal de exportación de LO₂
- Tuberías, cableado, instrumentos y sistema de control

Costo nº 3 - Recuperación de O₂ de USA y electrolizadores:

- Electrólisis O₂ Secador DeOxo (unidad de purificación)
- Unidad de etapa de separación de O₂ de USA (columna de destilación adicional)
- Unidad de licuefacción de O₂ y tanques de almacenamiento de O₂ líquido, tipo cilindro vertical
- Terminal de exportación de O₂
- Unidad de licuefacción de O₂ y tanques de almacenamiento de O₂ líquido, tipo cilindro vertical
- Almacenamiento de LO₂
- Terminal de exportación de LO₂
- Tuberías, cableado, instrumentos y sistema de control

Tabla 3.2.1.2.a

CAPEX de referencia para las alternativas de recuperación, acondicionamiento, almacenamiento y exportación de oxígeno

Alternativas	Costo 1 (Electrolizador)	Costo 2 (USA)	Costo 3 (Electrolizador+USA)
Cantidad de O ₂	16,200 kg/h 388 ton/d 137k ton/año	2,800 kg/h 67 ton/d 23k ton/año	19,000 kg/h 460 ton/d 160k ton/año
CAPEX	7 m\$	4 m\$	10 m\$

Costes de operación (OPEX)

La siguiente **Tabla 3.2.1.2.b** muestra los parámetros OPEX de las distintas soluciones de almacenamiento de NH₃.

Tabla 3.2.1.2.b

OPEX de referencia para las distintas soluciones de almacenamiento

Alternativas	Costo 1 (Electrolizador)	Costo 2 (USA)	Costo 3 (Electrolizador+USA)
Cantidad de O ₂	16,200 kg/h 388 ton/d 137k ton/año	2,800 kg/h 67 ton/d 23k ton/año	19,000 kg/h 460 ton/d 160k ton/año
OPEX fijo	140,000 \$/año	80,000 \$/año	200,000 \$/año
OPEX variable	1.5 kWh/kg		

3.2.3

Alternativas de Tecnologías de Síntesis de NH₃

3.2.3.1

Tecnologías Evaluadas

Las alternativas tecnológicas de síntesis de NH₃ evaluadas fueron:

- Haber-Bosch (tecnología madura)
- Síntesis Electroquímica (tecnología incipiente)
- Síntesis por Plasma no Térmico (tecnología incipiente)
- Síntesis de Amoníaco en Estado Sólido (tecnología incipiente)

Haber-Bosch (tecnología madura)

El proceso Haber-Bosch es un proceso bien establecido de fijación del N₂ que se viene utilizando para producir NH₃ a escala industrial desde principios del siglo XX. Tradicionalmente, el proceso se acciona con vapor, pero esta Planta de ATOME adoptará una alteración del proceso accionada eléctricamente para eliminar la necesidad de producir vapor in situ.

El H₂ y el N₂ entran en la unidad de síntesis de NH₃ desde la unidad de electrólisis y la unidad de separación de aire, respectivamente. Los dos flujos de gas se comprimen mediante compresión multietapa a 15-25 MPa. La corriente comprimida se mezcla con una corriente de reciclado procedente del reactor que contiene H₂ y N₂ sin reaccionar. Esta corriente se precalienta en el intercambiador de calor de alimentación utilizando la corriente de salida del reactor Haber Bosch (ver ejemplo en la **Figura 3.2.3.1.a**). Durante la puesta en marcha, se puede utilizar un calentador eléctrico para calentar esta corriente. A continuación, esta corriente mezclada entra en el reactor Haber-Bosch para la síntesis de NH₃ utilizando un exceso de N₂ en una proporción N₂: H₂ de 1:2. La reacción se lleva a cabo normalmente a 15°C. La reacción se lleva a cabo normalmente a 15 - 25 MPa y 400 - 450°C utilizando un catalizador a base de hierro.

Una corriente de NH₃ producido y H₂ y N₂ sin reaccionar sale del reactor Haber-Bosch y se enfría en el intercambiador de calor de alimentación del reactor y en el refrigerador secundario. A continuación, la corriente enfriada entra en un condensador en el que el producto NH₃ se condensa, se separa y se envía a almacenamiento. El H₂ y el N₂ gaseosos sin reaccionar salen del condensador y se reciclan para mezclarse con la corriente de alimentación de H₂ y N₂ entrante.

Se suministra una corriente de purga a la antorcha para evitar la acumulación de trazas no reactivas en el sistema. Se instalará un sistema de recuperación de vapores en esta corriente de purga para extraer el H₂ sin reaccionar y el NH₃ reciclado como reactivo y producto valiosos.

Figura 3.2.3.1.a
Ejemplo de reactor Haber-Bosch de amoníaco de CASALE



Síntesis electroquímica (tecnología incipiente)

Las tecnologías de producción electroquímica de NH_3 se dividen en tres categorías en función del intervalo de temperaturas de funcionamiento de la célula electroquímica: Bajas temperaturas, por debajo de 100°C , temperatura intermedia en el rango de $100\text{-}400^\circ\text{C}$ y altas temperaturas en el rango de $400\text{-}750^\circ\text{C}$. Las ventajas preliminares de la tecnología electroquímica en comparación con la termoquímica (Haber-Bosch) se encuentran en cuatro áreas principales:

- 1) Mayor eficacia, lo que permite ahorrar energía.
- 2) Mayor selectividad, lo que significa que se requiere menos purificación.
- 3) Temperaturas y presiones más bajas, lo que se traduce en una reducción de los costes de inversión (CAPEX) gracias a un menor balance de la planta.
- 4) Modularidad, lo que hace que estas plantas sean adecuadas para su utilización a pequeña y mediana escala.

Existen varias vías para la producción de NH_3 mediante procesos electroquímicos, en función de los electrolitos utilizados y de las temperaturas de funcionamiento:

- 1) Electrolito líquido operando cerca de la temperatura ambiente;
- 2) Sales fundidas que operan a temperaturas intermedias de $180\text{-}500^\circ\text{C}$;
- 3) Membranas compuestas formadas por un electrolito sólido convencional mezclado con una sal de baja fusión, que operan en el rango de temperaturas de $300\text{-}700^\circ\text{C}$;
- 4) Electrolitos en estado sólido con una amplia gama de temperaturas de funcionamiento, desde aproximadamente la temperatura ambiente hasta $700\text{-}800^\circ\text{C}$, que depende del tipo de membrana electrolítica utilizada.

Síntesis por plasma no térmico (tecnología incipiente)

La síntesis de NH_3 o asistida por plasma funciona a bajas temperaturas (aproximadamente 50°C) y en condiciones de presión de aproximadamente 1 atm. Esta tecnología puede resolver algunos de los problemas asociados al proceso Haber-Bosch, como los elevados costes de capital.

Los dos retos más críticos de esta tecnología son:

- 1) Fijación del gas nitrógeno;
- 2) Reacciones retrospectivas;
- 3) La necesidad de mejorar los índices de conversión y eficiencia, ya que esta tecnología aún se encuentra en fase de investigación y desarrollo (disponible a pequeña escala).

Sin embargo, las ventajas de este sistema son el bajo coste de capital y que tiene una huella física pequeña. Este proceso es más compatible para la producción distribuida de NH_3 en ámbito local y el NH_3 se puede producir constantemente a presión atmosférica a través de este método. El proceso de plasma de microondas es capaz de activar tanto el N_2 como el H_2 , y producir iones y radicales libres que reaccionan sobre la superficie del catalizador para producir NH_3 . Una de las ventajas de este proceso es que, en las condiciones adecuadas, el calentamiento por microondas es capaz de calentar el catalizador de forma selectiva para alcanzar la temperatura requerida sin necesidad de que se produzcan reacciones y sin calentar el ambiente. Esta disposición de un catalizador con una temperatura elevada dentro de un entorno frío da lugar a temperaturas de reacción globales más bajas y mejora la eficiencia energética. Además, el diseño simplificado de este proceso se debe a su baja presión operativa. La baja presión operativa de este proceso permite que se adapte mejor a las fuentes de energía renovables, ya que, según se informa, el sistema puede encenderse y apagarse fácilmente.

Síntesis de amoníaco en estado sólido (tecnología incipiente)

Por síntesis de amoníaco en estado sólido se entiende cualquier tecnología electroquímica para la producción directa de NH_3 que utilice un electrolito sólido. En este caso, "directa" significa que no se produce H_2 : el NH_3 se sintetiza directamente a partir de H_2O (agua) y N_2 (nitrógeno, procedente del aire) sin pasos intermedios. Aunque se están desarrollando muchas variaciones de esta tecnología en todo el mundo, actualmente no hay este tipo de sistema disponible comercialmente.

Las tecnologías de síntesis de amoníaco en estado sólido de alta temperatura se evalúan en dos categorías, que se distinguen en función de si el electrolito conduce protones (H^+) o iones de oxígeno (O_2^-).

La producción de NH_3 gaseoso se ha logrado utilizando la síntesis de amoníaco en estado sólido a altas y bajas temperaturas con diversos niveles de éxito, pero los datos de las investigaciones actuales siguen siendo de 1 a 2 órdenes de magnitud demasiado bajos.

3.2.3.2

Análisis Comparativo

La tecnología seleccionada es el proceso Haber-Bosch, ya que es el único proceso de fijación de nitrógeno maduro y bien establecido que se ha utilizado para producir amoníaco a escala industrial desde principios del siglo 20. El proceso es tradicionalmente alimentado por vapor, pero esta planta adoptará una modernización de calentamiento eléctrico del proceso desarrollado y probado por Casale, para eliminar el requisito de producir vapor en el sitio para su puesta en marcha.

Otras ventajas de esta tecnología son:

La solución Flexigreen de CASALE es una aplicación específica de las soluciones convencionales de amoníaco de CASALE al emergente mercado de H₂/NH₃ verde. CASALE ha desarrollado varias mejoras para adaptar el diseño tradicional de planta gris de NH₃ que funciona con carga base, a los nuevos proyectos de plantas verdes de NH₃ con fluctuación de potencia y carga.

Aspectos clave:

- Circuito de NH₃ flexible
- Minimización del corte de energía
- Fuente de alimentación de reserva
- Carga mínima
- Rampas máximas
- Factor de capacidad
- Disponibilidad

Las mejoras de CASALE para proyectos ecológicos de NH₃ incluyen:

- Adoptar el catalizador AmoMax™-CASALE a las nuevas condiciones de síntesis y minimizar el envenenamiento. Se trata de un diseño propio de CASALE, fabricado por Clariant;
- La mejor respuesta de carga de su clase, del 10% al 100% de carga en una hora y viceversa;
- Rápido calentamiento eléctrico (no necesita caldera de gas);
- Diseño adaptado para un funcionamiento continuo y estable con cargas bajas;
- Puesta en marcha y parada frecuentes;
- Modelado dinámico y optimización del paquete de procesos.

Los resultados muestran una mejora total del 8-10% en CAPEX-OPEX, y una reducción potencial de hasta el 15% en el coste nivelado del amoníaco.

3.2.4

Alternativas de Tecnologías de Almacenamiento de CAN

3.2.4.1

Tecnologías Evaluadas

Se están analizando los siguientes tipos de almacenamiento:

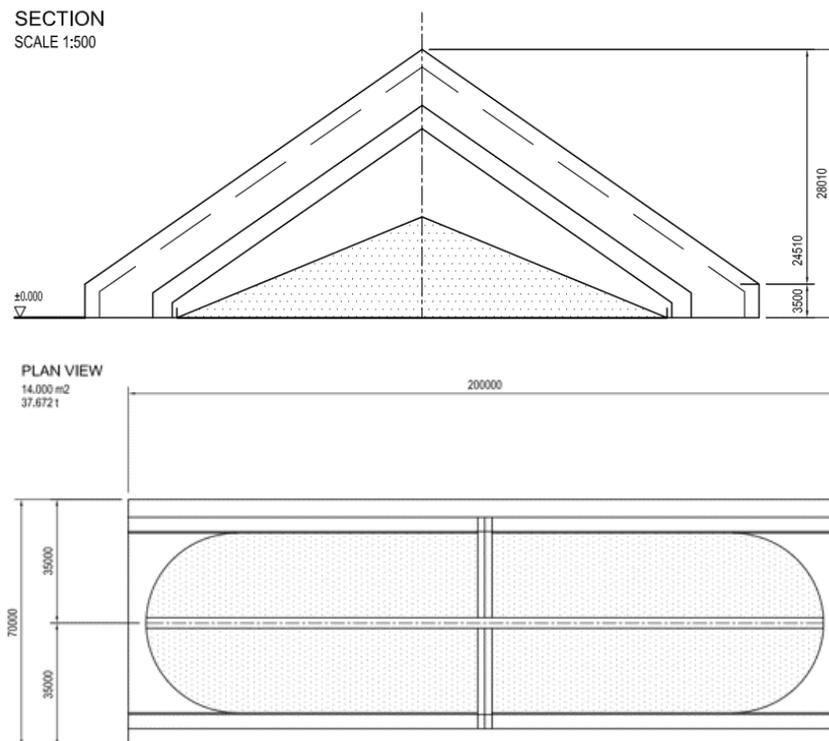
- A largo plazo
 - Silo horizontal, a granel;
 - Silo vertical, a granel.
- A corto plazo
 - Depósito para almacenamiento de CAN empaquetado, hasta una pila de big bags.

Silo horizontal

Esta opción se refiere a un silo de 14,000 m² con capacidad para almacenar hasta 37,672 toneladas de CAN a granel. Su capacidad de almacenamiento es de hasta 50 días.

Figura 3.2.4.1.a

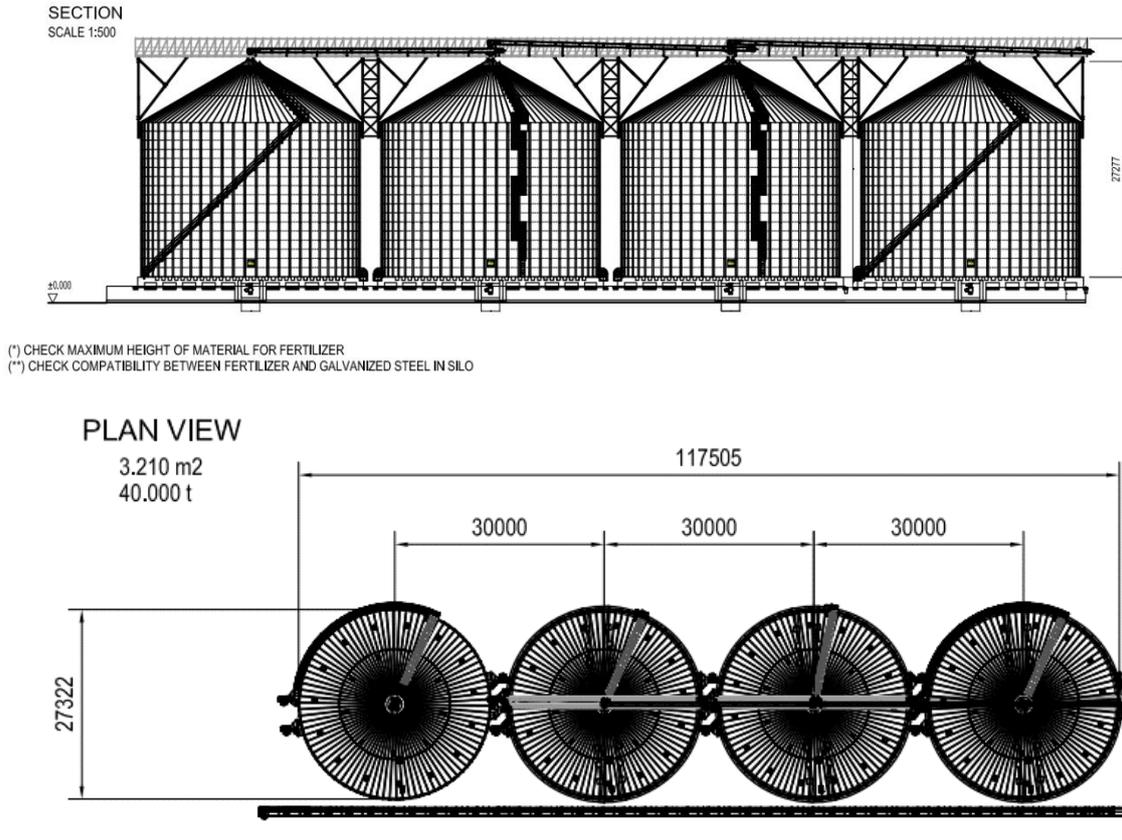
Detalle silo horizontal



Silo vertical

Esta opción se refiere a un silo de 3,210 m² con capacidad para almacenar hasta 40,000 toneladas de CAN a granel. Su capacidad de almacenamiento es de hasta 50 días.

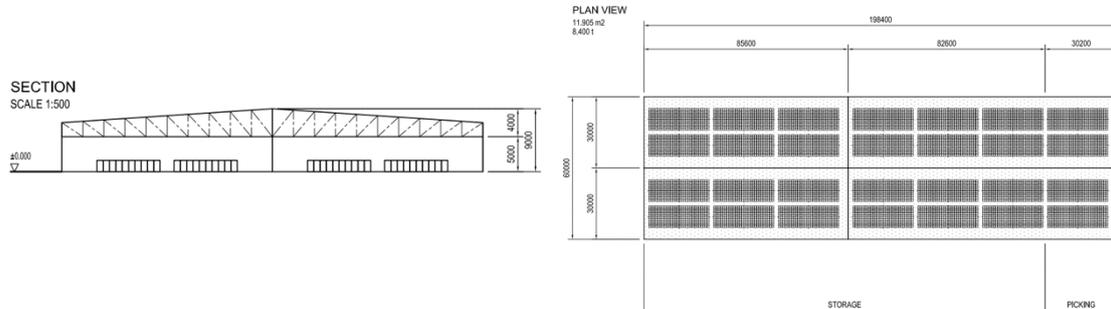
Figura 3.2.4.1.b
Detalle silo vertical



Depósito para almacenamiento de CAN empaquetado

El depósito sería construido para almacenar CAN empaquetado en big bags, con capacidad para almacenar hasta 8,400 toneladas o 7,127 big bags. Su capacidad de almacenamiento es de hasta 10 días. La superficie total del depósito sería de 11,905 m².

Figura 3.2.4.1.c
Detalle Depósito para Big Bags



3.2.4.2

Análisis Comparativo

Costos

Tabla 3.2.4.2.a
Comparación de costos de los tipos de almacenamiento

Tipo de almacenamiento	Costos de edificio (€/t)	Mano de obra requerida
Silo horizontal	150	<ul style="list-style-type: none"> 3 personas en total: <ul style="list-style-type: none"> 1 en almacenamiento 1 para la preparación para envío 1 para carga en camiones
Silo vertical	110 =	<ul style="list-style-type: none"> 3 personas en total: <ul style="list-style-type: none"> 1 en almacenamiento 1 para la preparación para envío 1 para carga en camiones
Depósito de CAN empaquetado	550	<ul style="list-style-type: none"> 10 personas en total: <ul style="list-style-type: none"> 4 en almacenamiento 4 para la preparación para envío 2 para carga en camiones

3.2.5

Alternativas de Sistema de Refrigeración

3.2.5.1

Tecnologías Evaluadas

Las dos tecnologías evaluadas para el sistema de refrigeración fueron:

- Sistema de refrigeración húmeda: torre de refrigeración
- Sistema de refrigeración seca: refrigeradores de aire

Sistema de refrigeración húmeda: torre de refrigeración

La opción basada en Torre de Refrigeración estará compuesta por dos circuitos diferentes: uno de circuito abierto (el agua circulante está en contacto directo con el aire ambiente) y otro de circuito cerrado (el agua del interior del circuito es enfriada por el agua circulante principal en un intercambiador de calor de placas).

El agua de circulación del circuito abierto es agua de servicio (agua de río pretratada), mientras que el agua circulante del agua de refrigeración cerrada es agua desmineralizada.

- Circuito abierto: este sistema se compone de los siguientes equipos:
 - Torre de refrigeración (1 X 100%): La torre de refrigeración será de tipo multicelular de giro mecánico y flujo en contracorriente. Cuando el agua cae por la torre, se enfría por evaporación. Un porcentaje del agua circulante se evacua al sistema de drenaje de la Planta - purga de la torre.
La purga de la torre es necesaria para evitar la concentración de minerales que es alta debido a la evaporación. También hay una corriente de agua de reposición a la torre para reemplazar el agua perdida por evaporación y purga.
 - Bombas principales de agua de refrigeración (2 X 100%): estas bombas impulsan el agua de refrigeración desde el tanque de la torre hasta las placas intercambiadoras de calor.
 - Intercambiadores de calor de placas (2 X 100%): estos intercambiadores de calor enfrían el agua circulante a través del circuito cerrado de agua de refrigeración.
- Circuito cerrado: este sistema se compone de los siguientes equipos:
 - Dos bombas cerradas de agua de refrigeración (2x100%): estas bombas hacen circular el agua de refrigeración desde el intercambiador de placas hasta los equipos a refrigerar.
 - Vaso de expansión: su función es absorber las variaciones de volumen del agua de refrigeración, manteniendo constante la presión en el circuito.
 - Enfriadora eléctrica: es necesaria para alcanzar la temperatura requerida por la depuradora de H₂.

Sistema de refrigeración seca: refrigeradores de aire

Los Refrigeradores de Aire son el equipo principal de un sistema de refrigeración cerrado en seco. En este caso el aire ambiente no está en contacto directo con el fluido que se desea enfriar.

Los refrigeradores secos presentan un diseño sencillo y robusto que incluye un intercambiador de calor (normalmente serpentines de tubos aleteados o microcanales) y ventiladores que dirigen la corriente de aire a través del intercambiador de calor para enfriar el agua de refrigeración del circuito que pasa por él.

Los principales componentes del sistema son los siguientes:

- Ventilador de aletas (1 x 100%): este equipo disipa la carga térmica del circuito, a través de un sistema de ventiladores, enfriando el agua del interior de los tubos con el ambiente;
- Dos bombas de refrigeración cerradas (2x100%): estas bombas hacen circular el agua de refrigeración desde el intercambiador de placas hasta el equipo a refrigerar;

- Tanque de expansión: su función es absorber las variaciones de volumen del agua de refrigeración, manteniendo constante la presión en el circuito;
- Sistema de dosificación de productos químicos: consta de inhibidores de corrosión y de un patín de dosificación de anticongelante;
- Refrigerador eléctrico: es necesario para alcanzar la temperatura requerida por la depuradora de H₂.

3.2.5.2 Análisis Comparativo

En cuanto a los dos sistemas de refrigeración analizados (sistemas húmedo y seco), en la siguiente **Tabla 3.2.5.2.a** se resumen las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellos:

Tabla 3.2.5.2.a
Ventajas y desventajas de las alternativas de sistema de refrigeración

Sistema de Refrigeración	Ventajas	Desventajas
Torre de Refrigeración	Capacidad de enfriar el agua por debajo de la temperatura de bulbo seco	Alto consumo de agua
	Funcionamiento fiable en condiciones ambientales calurosas	Son necesarios dos circuitos de agua de refrigeración con los equipos asociados
	Consumo de energía eléctrica moderado	Elevado coste del equipo instalación y obra civil
	Huella del equipo relativamente pequeña	Elevado coste de funcionamiento
Refrigeradores de Aire	No hay pérdida de agua, no se requiere reposición de agua	No puede enfriar el agua de proceso por debajo de la temperatura de bulbo seco (sin preenfriamiento adiabático)
	Sólo un circuito de agua de refrigeración	Elevado consumo eléctrico
	Costes de funcionamiento bajos	Gran superficie ocupada por el equipo
	Bajo coste de instalación	

Según la Tabla precedente, los refrigeradores de aire estándar no pueden enfriar el agua circulante por debajo de la temperatura ambiente de bulbo seco, por lo que considerando que esta temperatura ambiente es de 37,2°C, no será posible alcanzar la temperatura del agua de refrigeración requerida para la Planta, por debajo de 37°C.

Existe un diseño moderno, que podría ser una solución, llamado "sistema de refrigeración adiabático", que es similar a los sistemas de refrigeración seca, pero con la incorporación de un sistema de preenfriamiento, ya sea de pulverización adiabática o de almohadillas húmedas. El preenfriamiento evaporativo permite enfriar el fluido de proceso por debajo de la temperatura de bulbo seco, aumentando el calor rechazado de la corriente de agua de refrigeración.

Este sistema funciona como un sistema seco cuando la temperatura ambiente es inferior a un valor determinado (30°C), y el sistema adiabático se activa cuando la temperatura ambiente es superior. Además, otras desventajas del enfriador de aire adiabático son el consumo de agua y los costes más elevados.

En relación con la Tabla de arriba, y teniendo en cuenta las condiciones ambientales, los cálculos del sistema y la disponibilidad de agua, se concluye que el sistema de refrigeración debe ser el "Sistema de refrigeración húmeda basado en una torre de refrigeración", ya que con un sistema de refrigeración seco (enfriadores de aire) no es posible alcanzar la máxima temperatura permitida a la entrada del equipo 37°C).

Costes de inversión (CAPEX)

La siguiente **Tabla 3.2.5.2.b** desglosa el presupuesto para la alternativa seleccionada.

Tabla 3.2.5.2.b
Resumen del CAPEX para las alternativas de sistema de refrigeración

Ítem	Alcance	\$
Sistema de refrigeración húmeda		
Torre de refrigeración (1)	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura • Interiores • Grupo mecánico (ventiladores, accionamientos, etc.) • Instrumentación • Documentación técnica 	1,810,400
Tanque de la torre de refrigeración	Tanque	300,000
Bombas de refrigeración principales	Bombas y motores	717,348
Bombas de agua de refrigeración cerradas	Bombas y motores	1,279,985
Intercambiadores de calor de placas		667,851.82
Refrigerador eléctrico		705,292
Construcción		150,000
TOTAL		5.630,877

(1) Los dispositivos externos (contrahuellas, juntas de dilatación...) quedan excluidos.

3.2.6

Alternativas de Tratamiento del Agua

El sistema de tratamiento del agua incluye el pretratamiento, la potabilización y la desmineralización. Para el pretratamiento, está prevista la ultrafiltración (UF) y el tratamiento físico-químico. Para la potabilización, está prevista la filtración con carbón activado y la cloración. Para el tratamiento de desmineralización se han evaluado dos opciones, como se ha mencionado:

- 1) Estación de tratamiento de agua (ETA) basada en ósmosis inversa (OI) y electrodesionización (EDI).
- 2) ETA basada en OI y lechos de resinas de intercambio iónico (CB+MB).

3.2.6.1

Tecnologías Evaluadas

ETA basada en ósmosis inversa (OI) y electrodesionización (EDI)

La ETA basada en Ósmosis Inversa (OI) y Electrodesionización (EDI) constará de dos (2) trenes al 100% para producir agua desmineralizada a partir del agua de servicio (es decir, agua pre tratada). Los dos (2) trenes podrán funcionar simultáneamente. La planta de desmineralización se basará en dos (2) etapas de ósmosis inversa y una etapa de electrodesionización, formada por los siguientes componentes:

- Dos (2) bombas 100% para suministrar el agua de servicio a los filtros;
- Dos (2) filtros de cartucho 100%, cada uno con una capacidad del 100% (uno en espera) para agua pre tratada con un diámetro efectivo de partículas de 5 micras;
- Dos (2) bombas de alta presión de capacidad 100% para alimentar los trenes de desmineralización, una de ellas de reserva;
- Dos (2) trenes de ósmosis inversa de capacidad 100%. El proveedor definirá el número óptimo de pasos y etapas para obtener la calidad de agua requerida;
- Un (1) tanque de almacenamiento de agua osmotizada (opcional);
- Dos (2) bombas de agua de alimentación EDI al 100%, una como reserva;
- Dos (2) equipos de pulimento EDI con una producción neta de 20 m³/h por tren. En operación normal un, un tren de EDI estará en funcionamiento y el segundo en espera.
- Un (1) analizador EDI en línea;
- Analizadores de conductividad específica, pH y sílice cuando sean necesarios para el correcto funcionamiento del sistema;
- Un (1) sistema de limpieza in situ para la limpieza de los módulos de ósmosis, incluido el depósito de productos químicos, filtro de cartucho y bombas para el lavado y la limpieza de las membranas de ósmosis;
- Un (1) sistema de inyección de antiincrustante (si es necesario), incluyendo un (1) tanque de almacenamiento de productos químicos, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga e instrumentación asociada;
- Un (1) sistema de inyección de bisulfito sódico, que incluya un (1) depósito de almacenamiento de productos químicos, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga, así como la instrumentación asociada;
- Un (1) sistema de inyección de hidróxido de sodio, incluyendo un (1) tanque de almacenamiento químico, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga e instrumentación asociada;
- Cualquier equipo de almacenamiento y dosificación de reactivos químicos que se considere necesario para el funcionamiento, cuando sean diferentes de los equipos utilizados en la etapa de desalinización. Cada sistema de dosificación de productos químicos incluirá un depósito, 2 bombas 100% para cada servicio y una bomba centrífuga de llenado.

Como se observa, en esta opción se utilizarán antiincrustante (si es necesario), bisulfito sódico e hidróxido de sodio como productos químicos.

ETA basada en OI y lechos de resinas de intercambio iónico (CB+MB)

Así como la Opción 1), la ETA basada en OI y Lechos de Resinas de Intercambio Iónico (CB+MB) constará de dos (2) trenes al 100% para producir agua desmineralizada a partir del agua de servicio (es decir, el agua pre tratada). Los dos (2) trenes podrán funcionar simultáneamente. En esta opción, la planta de desmineralización se basará en el tratamiento con ósmosis inversa y resinas de intercambio iónico (Lechos Catiónicos y Lechos Mixtos), constituida por los siguientes componentes:

- Dos (2) bombas 100% para suministrar el agua de servicio a los filtros;
- Dos (2) filtros de cartucho 100%, cada uno con una capacidad del 100% (uno en espera) para agua pre tratada con un diámetro efectivo de partículas de 5 micras;
- Dos (2) bombas de alta presión de capacidad 100% para alimentar los trenes de desmineralización, una de ellas de reserva;
- Dos (2) trenes de ósmosis inversa de capacidad 100%. El proveedor definirá el número óptimo de pasos y etapas para obtener la calidad de agua requerida;
- Un (1) tanque de almacenamiento de agua osmotizada (opcional);
- Dos (2) bombas de agua de alimentación de intercambiadores de iones al 100%, una como reserva;
- Dos (2) trenes 100% (uno en funcionamiento y otro en regeneración o en espera) con todos los equipos, componentes, tuberías, válvulas, accesorios, instrumentación y control necesarios para su correcto funcionamiento y regeneración. Cada tren dispone de:
 - Intercambiador iónico de Resina Catiónica;
 - Intercambiador iónico de Lecho Mixto.
- Dos (2) bombas de recirculación al 100%;
- Filtros atrapa-resinas a la salida de cada resina catiónica y desmineralizador de lecho mixto;
- Válvulas automáticas y de control para el correcto funcionamiento de la planta;
- Un (1) Subsistema para la regeneración de las resinas con todos los equipos, componentes, tuberías, válvulas, accesorios, instrumentación y control necesarios para su correcto funcionamiento. Esto incluye:
 - Equipos de dosificación de productos químicos para la regeneración;
 - Ácido clorhídrico: incluyendo dos (2) tanques de almacenamiento, tres (3) bombas dosificadoras al 100% (una en de reserva), dos (2) bombas de carga 100%, un (1) tanque lavador de gases, una (1) Tee mezcladora, una (1) manguera flexible para la conexión del vagón cisterna de ácido y la instrumentación asociada;
 - Soda cáustica: incluye dos (2) tanques de almacenamiento, tres (3) bombas dosificadoras al 100% (una en 100% (una en espera), dos (2) bombas de carga 100%, una (1) T de mezcla, una (1) manguera flexible de conexión vagón cisterna sosa cáustica y la instrumentación asociada;
 - Dos (2) soplantes 100% para la regeneración del lecho mixto;
 - Dos (2) bombas centrífugas de regeneración al 100%.
- Una (1) fosa de neutralización (obra civil por cuenta ajena) con un sistema completo de mezcla con chorros de agua alimentados a través de la línea de circulación presurizada de las bombas de neutralización;
- Dos (2) bombas de transferencia de efluentes 100% de regeneración;
- Analizadores de conductividad específica y de sílice cuando sea necesario para el correcto funcionamiento del sistema;

- Un (1) sistema de limpieza in situ para la limpieza de los módulos de ósmosis, incluido el depósito de productos químicos, filtro de cartucho y bombas de lavado y limpieza de las membranas de ósmosis/
- Un (1) sistema de inyección de antiincrustante, que incluye un (1) depósito de almacenamiento de productos químicos, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga e instrumentación asociada;
- Un (1) sistema de inyección de bisulfito sódico, que incluye un (1) tanque de almacenamiento de productos químicos, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga e instrumentación asociada;
- Un (1) sistema de inyección de hidróxido de sodio, incluyendo un (1) tanque de almacenamiento químico, dos (2) bombas de inyección al 100% y una (1) bomba de carga e instrumentación asociada.

En la Opción 2, además del antiincrustante, bisulfito sódico e hidróxido de sodio utilizados en la Opción 1, se utilizarán también ácido clorhídrico y sosa cáustica.

3.2.6.2

Análisis Comparativo

Costes de inversión (CAPEX)

La **Tabla 3.2.6.2.a** presenta la comparación entre los costes de inversión (CAPEX) de cada una de las opciones de tratamiento del agua evaluadas.

Tabla 3.2.6.2.a

Comparación del CAPEX de las opciones de sistemas de tratamiento de aguas

Ítem	Opción 1 - ETA OI + EDI	Opción 2 - ETA OI + CB+MB
Pre tratamiento (Clarificación + UF), 242.70 m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento físico-químico • Sistema UF • Sistema de retro lavado • Sistema de inyección de productos químicos • Equipo eléctrico • Sistema de control • Cable de interconexión • Herramientas especiales • Repuestos recomendados • Equipo mecánico, incluyendo líneas, válvulas e instrumentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento físico-químico • Sistema UF • Sistema de retro lavado • Sistema de inyección de productos químicos • Equipo eléctrico • Sistema de control • Cable de interconexión • Herramientas especiales • Repuestos recomendados Equipo mecánico, incluyendo líneas, válvulas e instrumentos
CAPEX	\$ 1,355,074	\$ 1,355,074
Desmineralización (33.50 m ³ /h) y potabilización (0.63 m ³ /h)	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de cartucho, incluidas bombas de alimentación • Sistema de ósmosis inversa, incluidas bombas de alta presión • Sistema EDI • Sistema de retro lavado • Filtros de carbón activado • Sistema de inyección de productos químicos • Equipo eléctrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de cartucho, incluidas bombas de alimentación • Sistema de ósmosis inversa, incluidas bombas de alta presión • Columnas de intercambio iónico • Sistema de regeneración de resinas • Sistema de neutralización • Sistema de retro lavado • Filtros de carbón activo

Tabla 3.2.6.2.a

Comparación del CAPEX de las opciones de sistemas de tratamiento de aguas

Ítem	Opción 1 - ETA OI + EDI	Opción 2 - ETA OI + CB+MB
	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control • Cable de interconexión • Herramientas especiales • Repuestos recomendados • Equipo mecánico, incluyendo líneas, válvulas e instrumentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de inyección de productos químicos • Equipo eléctrico • Sistema de control • Cable de interconexión • Herramientas especiales • Repuestos recomendados • Equipo mecánico, incluyendo líneas, válvulas e instrumentos
CAPEX	\$ 1,526,628	\$ 1,610,592
CAPEX total	\$ 2,881,702	\$ 2,965,666

Obs.: Esta tabla es preliminar (valores económicos basados en la base de datos de otros proyectos) y se actualizará durante las fases posteriores de ingeniería.

Costes de operación (OPEX)

La **Tabla 3.2.6.2.b** presenta la comparación entre los costes de operación (OPEX) de cada una de las opciones de tratamiento del agua evaluadas.

Tabla 3.2.6.2.b

Comparación del OPEX de las opciones de sistemas de tratamiento de aguas

Ítem	Opción 1 - ETA OI + EDI	Opción 2 - ETA OI + CB+MB
Coste de mantenimiento de la planta de pretratamiento, incluyendo consumo de productos químicos	\$ 43,569	\$ 43,569
Coste de mantenimiento de la planta de desmineralización y potabilización, incluido el consumo de productos químicos	€ 49,085	\$ 69,047
OPEX total	\$ 92,654	\$ 112,616

Obs.: Esta tabla es preliminar (valores económicos basados en la base de datos de otros proyectos) y se actualizará durante las fases posteriores de ingeniería.

Considerando las dos configuraciones diferentes para la planta de desmineralización (Opción 1: desmineralización basada en OI+EDI u Opción 2: basada en OI+CB+MB), ambas configuraciones pueden ser utilizadas para obtener la calidad de agua desmineralizada requerida por los electrolizadores.

Sin embargo, la opción de desmineralización final mediante Resinas de Intercambio Iónico implica un elevado consumo de productos químicos y la generación de elevados volúmenes de efluentes que requerirán ser neutralizados antes de ser vertidos.

Por lo tanto, se eligió la Opción 1 que es la más efectiva y minimiza los costos operativos. La eficiencia de los procesos es muy alta y no hay flujos residuales debido a que el bajo rechazo de las aguas generados en el EDI es recuperado en la alimentación de la OI.

3.2.7

Alternativas de Fuente de Agua Superficial y/o Subterránea

3.2.7.1

Opciones Evaluadas

Como se ha mencionado en la **Sección 2.6.2.1**, la fuente de agua del Proyecto constituirá el río Paraguay (a 2.3 km de la Planta en línea recta). En el análisis comparativo se mencionan las principales limitantes y motivos por el cual se ha seleccionado al río como la alternativa más viable. No obstante, cabe destacar que el uso del agua de pozo aún se encuentra en evaluación, pero únicamente como fuente de agua para un tanque secundario para combate de incendios de manera a cumplir con la legislación local.

3.2.7.2

Análisis Comparativo

Agua de pozo perforado en el terreno

Debido a la alta conductividad del agua subterránea, el pretratamiento necesario es un proceso de ósmosis inversa (OI) con una eficiencia aproximada del 65% (según la simulación realizada). Esto implica que el total de agua subterránea necesaria será de 242.70 m³/h, lo que significa, como mínimo, 4 o 5 pozos con las bombas correspondientes (caudal máximo por perforación de 50 m³/h).

De acuerdo con la información proporcionada por el pozo ya perforado en el terreno (profundidad de perforación 96 m, profundidad de aspiración de la bomba 44 m y altura dinámica del agua 22 m), se ha calculado la potencia necesaria para la bomba de cada pozo (50 m³/h) (**Tabla 3.2.7.2.a**):

Tabla 3.2.7.2.a

Potencia necesaria para cada bomba de pozo

	Potencia consumida (kW) por cada bomba	Número de bombas necesarias	Energía total consumida (kW)
Bomba (50 m ³ /h)	7	4-5	21-28

Además, se ha realizado una estimación del consumo de energía y del coste de inversión para el pretratamiento correspondiente (OI). Los resultados se incluyen en la siguiente **Tabla 3.2.7.2.b**:

Tabla 3.2.7.2.b

Consumo de energía y del coste de inversión del pretratamiento

	Potencia consumida (kW)	CAPEX (€)
Pretratamiento para el agua del pozo (OI)	110	2,215,000

En relación con los efluentes, el rechazo del proceso de OI considerando un rendimiento del 65% será un caudal de 6.98 m³/h, con una conductividad aproximada de 30,000 uS/cm. Este efluente tendría una conductividad muy elevada para su vertido, requiriendo un estudio específico para su tratamiento. Una opción para gestionar sus efluentes sería incluir un tanque de evaporación cuya limitante sería el espacio en la planta. Otra alternativa es incluir un tanque/depósito de almacenamiento para recoger los efluentes y que sean eliminados vía gestores debidamente autorizados para los fines.

Agua del río Paraguay

El río Paraguay se encuentra a unos 2 km de la Planta. Considerando esa distancia y una tubería de distribución de 3" desde la descarga de la bomba hasta la Planta, la potencia consumida por la bomba sería de 23 kW.

El caudal mínimo del río Paraguay es de aproximadamente 2,701 m³/s y el caudal a ser captado para el proyecto es de 242.70 m³/h o 0.07 m³/s, que corresponde a cerca de 0.003% del caudal del río, demostrando la viabilidad de esta alternativa.

Debido a la turbidez y sólidos totales en suspensión (SST) de esta agua, el pretratamiento en este caso es un tratamiento fisicoquímico ya mencionado en la **Sección 2.6.2.2**. Se estima que el agua pretratada necesaria es de 218.43 m³/h.

Por otro lado, el pretratamiento requerido para el agua de río implica un coste de inversión más bajo que el requerido para el agua de pozo.

Tabla 3.2.7.2.c

Consumo de energía y del coste de inversión del pre tratamiento

	Potencia consumida (kW)	CAPEX (€)
Pre tratamiento para el agua de río	200	862,000

El volumen de efluentes a ser vertidos en el río sería de 77.30 m³/h, con picos ocasionales de 84.20 m³/h, siendo el consumo neto total de la planta de 165.4 m³/h o 158.5 m³/h, para cada caso. Cabe destacar que los efluentes representarían solo el 0.008% o 0.007% del caudal mínimo del río, para cada caso, considerándose prácticamente despreciable. Estos efluentes serán tratados en la ETAR para cumplir con la calidad establecida en la Resolución 222/02 y las guías generales de medio ambiente, salud y seguridad y guías para la producción de fertilizantes nitrogenados de CFI/Banco Mundial.

3.3

Alternativa sin Proyecto

Como se menciona en la **Sección 2.1**, el proyecto de la planta de ATOME se basa en la producción del fertilizante CAN a partir de NH₃ producido con H₂ verde, utilizando energía renovable (procedente de hidroeléctrica existente) para el proceso de electrólisis. El objetivo del Proyecto es responder a la demanda local y regional de fertilizantes a través de la producción del primer fertilizante realmente verde de Paraguay.

En ese contexto vale recalcar que Paraguay importa el 100% de sus fertilizantes – aproximadamente 1.2 millones de toneladas al año. Asimismo, son actores estratégicos para ATOME los países vecinos como Brasil, el mayor importador de fertilizantes amoniacales del mundo (13.7% del nitrato de amonio del mundo) cuyo principal socio comercial es Rusia.

Más del 95% del hidrógeno producido hoy se fabrica con combustibles fósiles, alrededor del 45% de este se dedica a la producción de amoníaco (185 millones de toneladas al año) y el 80% de la producción mundial de amoníaco se utiliza para producir fertilizantes.

En ese sentido, sin el Proyecto, la oferta para satisfacer la demanda se haría probablemente únicamente mediante el proceso tradicional de producción de hidrógeno quemando combustibles fósiles, lo que se denomina H₂ gris. Según datos obtenidos¹, la producción de una tonelada de H₂ gris libera a la atmósfera unas diez toneladas de CO₂.

La implementación del Proyecto permitiría ofrecer un producto sustituto con el potencial de desplazar 525,000 t-CO₂-eq/año de emisiones de carbono en el sector de fertilizantes. Al considerar la vida útil del Proyecto (25 años), este impacto se traduciría en 13,125,000 t CO₂-eq evitados.

La producción de fertilizantes y su uso son responsables de la emisión de 2.6 gigatoneladas de carbono por año. El Proyecto instalado en Paraguay cuya energía es prácticamente 100% renovable, a partir de las represas hidroeléctricas como Itaipú y Yacyretá, permiten la producción de un fertilizante verde con los niveles más bajos de emisiones de carbono en el mundo y a costos competitivos, pudiendo reemplazar a la urea, reduciendo la pérdida y transporte de nitrógeno por lixiviado hasta los ecosistemas acuáticos e incrementando el rendimiento productivo.

Además de no evitar los impactos asociados a las emisiones de CO₂ a la atmósfera, la alternativa sin el Proyecto no tendría los impactos positivos asociados al mismo, como la generación de empleos directos e indirectos en las fases de construcción y operación, la dinamización de la

¹ <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-cinza/>

economía local mediante la compra de insumos y bienes de consumo y la contratación de servicios, además de la recaudación de impuestos. El Proyecto también aporta tecnologías punta a Paraguay.

En relación con los puestos de trabajo durante la construcción de la Planta, se estima que se contratarán cerca de 1,020 a 1,073 trabajadores en el pico de las obras, y gran parte de estos puestos podrán ser cubiertos por residentes locales de Villeta. En la fase de operación se estima que se generarán cerca de 225 empleos directos y 874 indirectos. Estos puestos también incluirán contrataciones locales, con beneficios asociados a la formación y capacitación y a la continuidad de los empleos. Además, se estiman entre 40-50 personas para los otros componentes del Proyecto, incluyendo la LT y el sistema de captación de agua y tuberías.

Los efectos positivos del Proyecto sobre el comercio y los servicios de la región también deberán producirse principalmente en Villeta, lo que impulsará la economía local y aumentará la recaudación fiscal, que será aplicada por el municipio, revirtiendo en beneficios para la población.

El Proyecto, en su fase de operación, también tendrá un impacto positivo en el PIB industrial de Villeta, con reflejos positivos también en el PIB del Departamento Central.

Por otro lado, sin el Proyecto no se producirían varios impactos negativos y riesgos asociados al mismo, siendo los principales la pérdida de cobertura vegetal, las molestias a los residentes vecinos como consecuencia de la construcción y operación de la Planta. Así pues, sin el Proyecto se mantendría la calidad socioambiental actual del terreno y entorno.

No obstante, el diseño de la Planta incluye tecnologías para prevenir o minimizar potenciales impactos en la calidad acústica, calidad de aire, y potenciales riesgos de salud y seguridad. Además, los EPCistas, CASALE y ATOME aplicarán un sólido conjunto de programas y medidas tanto para las obras como para la fase de operación, consolidados en un Plan de Gestión Ambiental y Social - PGAS.

También es importante mencionar que el terreno elegido para la implantación del Proyecto tiene un entorno casi en su totalidad desocupado, con una sola residencia vecina. Para evitar molestias y riesgos, se han previsto varias medidas, que van desde ajustes del diseño, selección de equipos y tecnologías, medidas de controles de las emisiones, abatimiento de ruidos y propuesta de mitigación, en caso necesario. Además, las tecnologías diseñadas y adoptadas resultan en una Planta cuyos equipos emitirán los niveles más bajos de ruido y emisiones atmosféricas a fin de cumplir con la legislación paraguaya e inclusive estándares internacionales, y operarán de acuerdo con las normas internacionales de seguridad y salud.

Todo el PGAS a implementar seguirá el principio de jerarquía de mitigación, es decir, se priorizarán las medidas de prevención, seguidas de las alternativas de mitigación y control, y sólo entonces, si no es posible prevenir o mitigar, se compensará el impacto.

La pérdida de cubierta vegetal es un ejemplo de esta aplicación. El proyecto contempla compensaciones ambientales mediante la adquisición de servicios ambientales y plantíos compensatorios de vegetación nativa como medidas para la vegetación suprimida durante la construcción del proyecto.