

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Proyecto final integrador

“Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos industriales para una refinería ubicada en Berisso, Argentina, alimentada, en parte, por energía solar fotovoltaica ”

Alumna: Eugenia Lucía Lago

Legajo: CYT-7243

Carrera: Ingeniería Ambiental

Tutora: Vera Mignaqui

Mayo 2022

ÍNDICE

1. Introducción a la industria petrolera	10
1.1. La historia del petróleo	10
1.2. El origen del petróleo	11
1.3. Procesos de la industria petrolera	12
1.4. Clasificación del petróleo	14
2. Downstream: la refinación del petróleo (Descripción del proceso productivo)	17
2.1. Destilación fraccionada o topping	19
2.2. Destilación al vacío	21
2.3. Procesos de separación física	22
2.4. Procesos de conversión química	22
2.4.1. Reformado	23
2.4.2. Hidrogenación o hidrotratamiento	24
2.4.3. Procesos de reconstrucción	25
2.4.4. Craqueo térmico y catalítico	25
2.4.5. Hidrocraqueo	27
2.5. Unidad de coque o craqueo catalítico	27
2.6. Procesos de tratamiento	28
2.6.1. Tratamiento previo	28
2.6.2. Hidroprocesos	29
2.6.3. Tratamiento de gases	29
2.6.3.1. Tratamiento con aminas	30
2.6.3.2. Stripper de aguas ácidas	30
2.6.3.3. Recuperación de azufre: unidad Claus y tratamiento de tail gas	31
2.7. Instalaciones auxiliares	32
3. Escenario energético	32
3.1. Escenario energético mundial	32
3.1.1. Consecuencias del crecimiento en la demanda de energía	32
3.1.2. Posibles soluciones a la contaminación generada	33
3.2. Escenario energético en la Argentina	34
3.3. Consumo energético de las refinerías	36
4. Construcción de una nueva refinería	37
4.1. Objetivo del proyecto	38
4.2. Justificación del proyecto	39
4.2.1. Justificación socio-económica	39
4.2.2. Justificación ambiental	39
4.2.3. Justificación tecnológica	40
5. Descripción del caso de estudio	40
5.1. Localización de la refinería	40

5.2. Descripción de la refinería	41
5.3. Agua dentro de la refinería	43
5.3.1. Ingresos de agua	44
5.3.2. Egresos de agua	47
5.3.2.1. Aguas de proceso	48
5.3.2.1.1. Agua del desalador	48
5.3.2.1.2. Aguas ácidas	48
5.3.2.1.3. Fondos de tanque	49
5.3.2.1.4. Soda cáustica usada	49
5.3.2.2. Aguas de enfriamiento	50
5.3.2.3. Purgas de condensado	51
5.3.2.4. Agua de lluvia	51
5.3.2.5. Agua cloacal	51
5.3.3. Contaminantes a ser tratados en la PTEL de la refinería	52
5.4. Consumo energético de la refinería	54
5.5. Espacio disponible para el proyecto	54
6. Memoria descriptiva y análisis de alternativas	55
6.1. Tratamiento primario	56
6.1.1. Tipos de separadores agua-aceite	57
6.1.1.1. Separadores API	57
6.1.1.2. Separadores de placa	58
6.1.1.2.1. Separadores de placas paralelas (PPI)	59
6.1.1.2.2. Separadores de placas corrugadas (CPI)	59
6.1.1.3. Elección separadores	60
6.1.2. Tipos de flotación	61
6.1.2.1. Flotación por vacío	61
6.1.2.2. Flotación por Disolución (DAF)	61
6.1.2.3. Flotación por aire inducido (IAF)	63
6.1.3. Sistema de equalización	64
6.2. Tratamiento secundario	65
6.2.1. Biodegradabilidad del efluente a tratar	66
6.2.2. Biomasa fija o adherida	67
6.2.2.1. Lecho percolador	67
6.2.2.2. Rotating Biological contactors (RBC)	68
6.2.3. Biomasa suspendida	69
6.2.3.1. Lodos activos	70
6.2.3.2. Laguna aireada mecánicamente	72
6.2.3.3. Biorreactores de membrana (MBR)	73
6.2.4. Análisis de alternativas de tratamiento secundario	75
6.3. Tratamiento terciario	78
6.3.1. Filtración	79

6.3.2. Carbón activado	80
6.3.3. Tecnología de separación por membranas impulsadas por presión	81
6.3.3.1. Microfiltración y ultrafiltración	81
6.3.3.2. Nanofiltración	81
6.3.3.3. Ósmosis inversa	82
6.3.4. Oxidación química (o avanzada)	82
6.3.5. Desinfección por cloración	83
6.4. Cámara de muestreo y medición de caudal	84
6.5. Disposición de lodos	84
6.5.1. Unidades generadoras de lodos	85
6.5.1.1. Lodos procedentes del API	85
6.5.1.2. Lodos procedentes del DAF	85
6.5.1.3. Lodos procedentes del sistema de lodos activos	86
6.5. Esquema final PTEL	87
7. Memoria de cálculo: Diseño del sistema de tratamiento seleccionado	87
7.1. Sistema de ecualización	88
7.1.1. Dimensiones del tanque	88
7.1.2. Sistema de aireación	90
7.2. Separador API	92
7.2.1. Cálculo velocidad ascensional	92
7.2.2. Factores a tener en cuenta en el diseño	93
7.2.3. Cálculo de la velocidad longitudinal	94
7.2.4. Cálculo dimensiones del separador	94
7.3. DAF	99
7.3.1. Cámara de flotación	100
7.3.2. Cámara de presurización	103
7.3.3. Adición de coagulantes y floculantes	104
7.4. Tratamiento secundario	108
7.4.1. Reactor biológico	109
7.4.1.1. Dimensiones	109
7.4.1.2. Tiempo de retención hidráulico ()	112
7.4.1.3. Relación alimento/microorganismos (F/M)	112
7.4.1.4. Cálculo de caudales	112
7.4.1.4.1. Caudal de purga (Qp)	112
7.4.1.4.2. Caudal de salida del sedimentador (Qs)	113
7.4.1.4.3. Caudal de recicló (QR)	113
7.4.1.5. Tiempo de retención celular (c)	113
7.4.1.6. Cálculo del requerimiento de oxígeno	113
7.4.1.7. Equipo de aireación	116
7.4.2. Sedimentador secundario	121
7.4.2.1. Dimensionamiento sedimentador	123

7.4.2.1.1. Zona de sedimentación	123
7.4.2.1.2. Zona de salida	127
7.4.2.1.3. Zona de barros	131
7.4.2.1.4. Barredor	131
7.4.3. Remoción del sistema de lodos activos	132
7.5. Cámara de cloración	133
7.5.1. Concentración de cloro	133
7.5.2. Dimensionamiento de la cámara	134
7.6. Cámara de muestreo	137
7.7. Lodos	139
7.7.1. Lodos API	139
7.7.2. Lodos DAF	140
7.7.3. Lodos proceso biológico	140
7.8. Conducciones	141
7.8.1. Conducciones por gravedad	142
7.8.2. Conducciones de impulsión o por bombeo	144
7.9. Sistemas de impulsión (Bombas)	146
7.10. Esquema final PTEL	147
8. Memoria de cálculo: Diseño del parque fotovoltaico	148
8.1. Requerimiento energético PTEL	148
8.2. Sistemas fotovoltaicos	149
8.2.1. Off-Grid	150
8.2.2. On-Grid	151
8.2.3. Híbridos	151
8.3. Sistema fotovoltaico a instalar	153
8.4. Dimensionamiento	153
8.4.1. Módulos fotovoltaicos seleccionados	154
8.4.2. Inversor seleccionado	156
8.4.2.1. Sistema de monitoreo	157
8.4.3. Estructuras seleccionadas	158
8.4.4. Resumen informe PVsyst	160
8.4.4.1. Inclinação y azimut	160
8.4.4.2. Separación entre módulos	161
8.4.4.3. Características del conjunto fotovoltaico	161
8.4.4.4. Energía generada	161
8.4.4.5. Pérdidas del sistema	164
8.4.4.6. Sombreados de la planta	164
8.4.4.7. Reducción de emisiones	165
8.4.5. Configuración eléctrica	167
8.4.5.1. Protecciones y cableado	168
8.4.5.2. Puesta a Tierra	168

9. Cómputos y presupuesto	169
9.1. CAPEX	170
9.2. OPEX	173
9.3. Análisis retorno de inversión (ROI) parque solar	175
9.4. Costo ambiental parque solar	176
9.5. Costos del tratamiento tercerizado del efluente líquido y análisis de factibilidad PTEL	176
10. Evaluación de impacto ambiental (EIA)	176
10.1. Metodología	177
10.2. Descripción del proyecto	177
10.2.1. Nombre del Proyecto	177
10.2.2. Ubicación y acceso al sitio del Proyecto	177
10.3. Memoria técnica del proyecto	180
10.3.1. Etapas del proyecto y su vida útil	180
10.3.1.1. Etapa de construcción	180
10.3.1.2. Etapa de operación	181
10.3.1.3. Etapa de cierre	181
10.3.2. Equipamiento necesario	182
10.3.3. Personal a contratar, abastecimiento de agua y energía	182
10.3.4. Residuos, efluentes y emisiones	183
10.3.4.1. Efluentes líquidos	183
10.3.4.2. Efluentes sólidos y semisólidos	183
10.3.4.3. Emisiones gaseosas, ruido y vibraciones	184
10.4. Caracterización ambiental (línea de base) del área de influencia del proyecto	184
10.4.1. Área de influencia directa e indirecta	184
10.4.1.1. Área de influencia directa	185
10.4.1.2. Área de influencia indirecta	186
10.4.2. Climatología	186
10.4.2.1. Estación meteorológica de referencia	186
10.4.2.2. Temperatura y humedad relativa	187
10.4.2.3. Precipitaciones	187
10.4.2.4. Vientos	188
10.4.3. Hidrografía superficial	189
10.4.3.1. Calidad del agua superficial	193
10.4.4. Hidrogeología e Hidrografía subterránea	194
10.4.4.1. Calidad del agua subterránea	195
10.4.5. Geología y geomorfología	196
10.4.5.1. Área de Influencia Fluvio Estuárica	197
10.4.5.2. Área de Influencia Marina	197
10.4.5.3. Zona de Origen Mixto	198
10.4.6. Medio edáfico	200

10.4.7. Medio biótico	201
10.4.7.1. Flora	202
10.4.7.2. Fauna	203
10.4.8. Áreas protegidas y de sensibilidad ambiental	204
10.4.8.1. Reserva Punta Lara	204
10.4.8.2. Paisaje Protegido de Interés Provincial Arroyo el Pescado	205
10.4.8.3. Isla Paulino e Isla Santiago	206
10.4.8.4. Parque Martín Rodríguez	207
10.4.8.5. Áreas Protegidas Costa del Río de La Plata y Costas de Canales y Arroyos	207
10.4.9. Medio atmosférico	207
10.4.9.1. Ruido	207
10.4.9.2. Calidad del aire	208
10.4.10. Medio Socioeconómico	209
10.4.10.1. Datos generales y demografía	209
10.4.10.2. Educación	209
10.4.10.3. Salud	210
10.4.10.4. Actividades productivas	210
10.4.10.5. Empleo	211
10.4.10.6. Servicios básicos	211
10.5. Identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales	212
10.5.1. Factores del medio potencialmente impactados	212
10.5.2. Acciones del proyecto potencialmente generadoras de impacto	212
10.5.3. Evaluación de impactos potenciales	213
10.5.4. Matriz de evaluación de impacto ambiental	215
10.5.5. Descripción de los impactos ambientales	216
10.5.5.1. Etapa de construcción	216
10.5.5.1.1. Impacto sobre el medio atmosférico	216
10.5.5.1.2. Impacto sobre el medio hídrico	216
10.5.5.1.3. Impacto sobre el medio edáfico	217
10.5.5.1.4. Impacto sobre el medio biótico	217
10.5.5.1.5. Impacto sobre el medio antrópico	217
10.5.5.2. Etapa de operación	218
10.5.5.2.1. Impacto sobre el medio atmosférico	218
10.5.5.2.2. Impacto sobre el medio edáfico	219
10.5.5.2.3. Impacto sobre el medio hídrico	219
10.5.5.2.4. Impacto sobre el medio biótico	219
10.5.5.2.5. Impacto sobre el medio antrópico	220
10.5.5.3. Etapa de Cierre	220
10.5.5.3.1. Impacto sobre el Medio Atmosférico	220
10.5.5.3.2. Impacto sobre el Medio edáfico	220
10.5.5.3.3. Impacto sobre el medio biótico	221

10.5.5.3.4. Impacto sobre el medio antrópico	221
10.5.6. Análisis de riesgo	221
10.5.7. Plan de gestión ambiental	222
10.5.7.1. Plan de prevención y mitigación	223
10.5.7.2. Plan de seguimiento y monitoreo	226
10.5.7.3. Plan de contingencias	227
10.6. Legislación aplicable	227
10.7. Conclusiones del EIA	231
11. Planos	231
12. Conclusiones y recomendaciones	232
12.1. Recomendaciones	233
12.2. Conclusión personal	234
13. Bibliografía	235
14. Anexo	242
14.1. Anexo de Cálculos	262
14.1.1. Laguna aireada mecánicamente	262
14.2. Planos del proyecto	267

Resumen ejecutivo

A partir del año 1857, cuando se creó la primera refinería y, especialmente desde el año 1901, donde el mundo ingresó en la “Era del petróleo”, el consumo del mismo y de la energía a nivel mundial ha ido en ascenso constante. Actualmente, el petróleo es la materia prima más comercializada del planeta representando 40% de la energía primaria y 90% de los combustibles entre otros miles de productos derivados (IAPG, 2011). Para poder utilizar este insumo, el mismo debe pasar por un proceso de refinación. Este proyecto se basa en esta parte de la industria petrolera, formando parte del *downstream*.

Una de las principales consecuencias en el aumento del consumo energético es que la producción de petróleo y sus derivados generan contaminantes. Por esta razón, uno de los objetivos más importantes de los años 2000 es la descarbonización a través de procesos sustentables y la implementación creciente de energías renovables, entre otros. Para poder cumplir con los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) planteados por las potencias mundiales, este proyecto se basa en el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos de una refinería a ser construida en Berisso, Buenos Aires, Argentina. Parte de este proyecto involucra también la construcción de un parque solar fotovoltaico asociado a esta planta de tratamientos, para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el consumo energético de la misma y aumentar así su sustentabilidad. Gracias a este proyecto, se logra entonces tratar los efluentes líquidos de esta industria para poder cumplir con la normativa ambiental vigente y también, gracias al parque fotovoltaico, con los ODS 7, 12 y 13 y la ley nacional N°27.270. Siendo no sólo una refinería de alta complejidad sino también una refinería más sustentable.

En este proyecto, se pueden observar los procesos que ocurren dentro de la refinería en cuestión, los posibles trenes de tratamientos a implementar para tratar los efluentes líquidos generados, los cálculos del tren de tratamiento más efectivo que finalmente se decidió construir, el cálculo del parque fotovoltaico asociado en función del espacio disponible, el presupuesto que este proyecto involucra y todos los impactos, tanto positivos como negativos, de la realización del mismo. Adicionalmente, se pueden observar los planos de la planta final a ser construida con los respectivos módulos fotovoltaicos.

Se puede concluir que el proyecto de la planta de tratamientos y del parque solar asociado es viable desde un punto de vista ambiental, técnico, legal, social y económico.

Los datos obtenidos para hacer el diseño de la planta de tratamientos se basan en información brindada por profesionales de la industria (partiendo así de un caso real) y fueron complementados con bibliografía, no habiéndose ensayado personalmente toma de muestras en el sitio de estudio.

1. Introducción a la industria petrolera

1.1. La historia del petróleo

La palabra petróleo significa “aceite de piedra” derivado del latín *petra* (roca) y *oleum* (aceite) (Jafarinejad, 2017). El mismo es una mezcla natural de hidrocarburos, compuestos que contienen carbono e hidrógeno en forma de cadenas y anillos, que puede existir tanto en estado gaseoso (gas natural) como líquido (petróleo crudo) dependiendo de las condiciones de presión y temperatura del ambiente. En su sentido más amplio, se trata de un material líquido, combustible, de aspecto viscoso, que se encuentra localizado en las capas sedimentarias de nuestro planeta (IAPG, 2011).

No es muy claro el momento exacto de la historia del humano cuando el petróleo se comenzó a utilizar. Se sabe que el asfalto, una forma muy viscosa del petróleo, ya se utilizaba en el año 6.000 AC para calefaccionar hogares y para impermeabilizar barcos. Se utilizó también en el año 3.000 AC para embalsamar momias y para la construcción de las pirámides de Egipto. No fue hasta finales de los 1800 que el petróleo hizo su gran salto a la fama, cuando reemplazó al carbón como fuente primaria de las máquinas de la revolución industrial (Fagan, 1991). Hoy aporta el mayor porcentaje de la energía que se consume en el mundo (IAPG, 2011).

En 1847, James Young inventó la manera de destilar kerosene del petróleo. A partir de este hito, obtuvo los productos necesarios para prender una lámpara de aceite generando también un aceite más viscoso que permitía lubricar maquinaria. Al año siguiente, James creó un pequeño negocio de refinación de petróleo dando inicio a la evolución de lo que hoy conocemos como las refinerías modernas de petróleo.

Inicialmente, el petróleo no era muy abundante, ya que se encontraba en las profundidades de la Tierra, y era muy difícil de obtener. La situación fue cambiando para convertirse en un recurso abundante a partir del año 1901, cuando se descubrió el yacimiento de *Spindletop*, ubicado en Texas, Estados Unidos. Allí se utilizaron nuevas técnicas de perforación con trépanos giratorios que podían perforar a mayor profundidad. *Spindletop* constituye el hito a partir del que nace la “Era del Petróleo”. Desde ese momento, y motorizada por el creciente desarrollo del automóvil, un símbolo del siglo XX, la expansión del petróleo fue imparable

hasta llegar a convertirse en la materia prima más comercializada a nivel mundial (IAPG, 2011).

1.2. El origen del petróleo

Como se mencionó anteriormente, el petróleo se forma a partir de la acumulación de hidrocarburos. Estos últimos se acumulan de manera natural en las profundidades de la Tierra a partir de la descomposición de materia orgánica, como plantas y animales marinos que murieron millones de años atrás (Jafarinejad, 2017). Se cree que estos hidrocarburos provienen mayormente de microorganismos que habitaron el mar en las primeras eras geológicas, fundamentalmente plancton. Si bien este último es microscópico, su abundancia en el océano es tal, que supera a todas las otras formas de vida. Los organismos muertos habrían ido acumulándose en capas sucesivas y habrían sido sometidos a condiciones de alta presión y temperatura, en ausencia de oxígeno. Se supone este proceso provocó cambios en la materia orgánica, primero formándose un material parafinoso, conocido como “querógeno”, que puede encontrarse en las pizarras bituminosas (*oil shales*) y posteriormente, con más calor, en hidrocarburos líquidos y gaseosos a través de un proceso conocido como “catagénesis” (IAPG, 2011). Esta teoría, es conocida como la teoría “orgánica”.



Figura 1: Formación del petróleo (Roldán, 2020)

La cantidad de presión y temperatura a la que se enfrentan los hidrocarburos influyen en la calidad y tipo de petróleo generado. Se cree que mayores temperaturas generan petróleos más livianos que son también de mejor calidad desde el punto de vista productivo.

En un yacimiento siempre se encuentra el casquete, formado por gas, que está en equilibrio con el petróleo líquido. A su vez, el petróleo está siempre acompañado por agua salada que se acumuló con él, esto conlleva la necesidad de su eliminación como primer paso en el tratamiento de un crudo (IAPG, 2011).

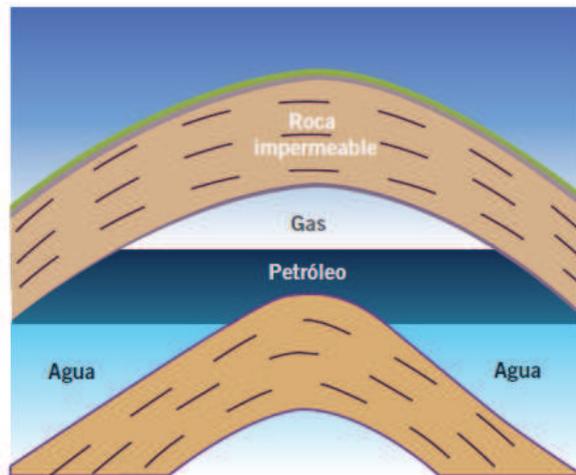


Figura 2: Corte de un yacimiento de petróleo tipo (IAPG, 2011)

1.3. Procesos de la industria petrolera

Esta industria está compuesta por diversos procesos que involucran desde la exploración a la extracción, a la refinación, al transporte hasta el marketing de los productos generados en las refinerías y petroquímicas. El transporte del crudo puede realizarse a través de buques, oleoductos y poliductos hasta trenes o camiones. Se puede observar la red de transporte del crudo en Argentina en la imagen a continuación.



Figura 3: Red de oleoductos, poliductos y rutas marítimas para el transporte primario de crudo y derivados en la República Argentina (IAPG,2011)

La división básica de esta industria es el *upstream*, *midstream* y *downstream*. El primero corresponde a la exploración, desarrollo y producción del crudo y gas natural. El *midstream* incluye los procesos entre el *upstream* y el *downstream* como por ejemplo el almacenamiento y transporte del crudo. Finalmente, el *downstream* incluye la refinación del petróleo e industria petroquímica, el marketing y su distribución (Jafarinejad, 2017). Es decir que, para poder comercializar el petróleo crudo y que llegue a los consumidores, el mismo debe ser procesado y separado. La instalación industrial que permite lograr esa transformación se denomina refinería.

Las actividades generales que ocurren dentro de la industria se pueden observar en la figura a continuación.

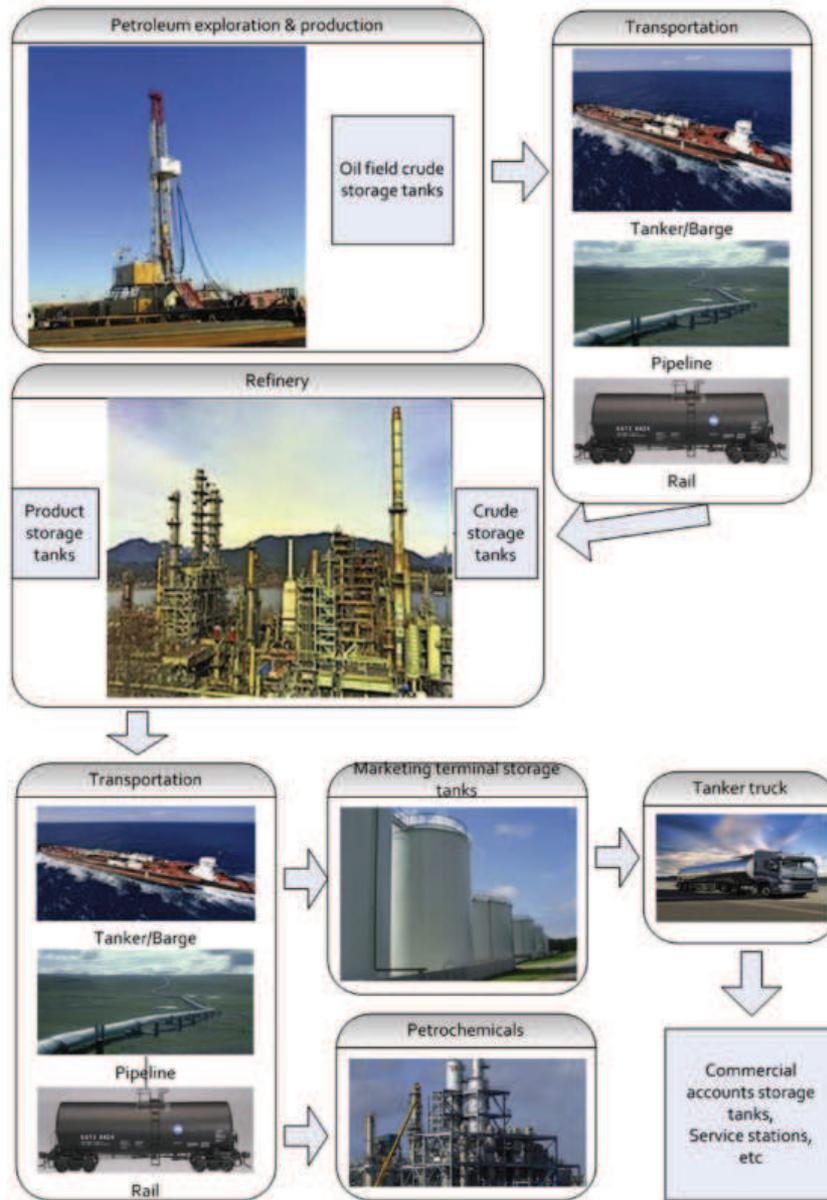


Figura 4: Actividades generales de la industria petrolera (Jafarinejad, 2017)

Al estar este proyecto centrado en esta última etapa, particularmente en la etapa de refinación del petróleo para obtener productos comercializables, la misma se desarrollará en detalle más adelante.

1.4. Clasificación del petróleo

Como se mencionó anteriormente, el petróleo está compuesto por una mezcla de hidrocarburos que no es siempre igual. Al no tener la misma estructura molecular, tampoco todos los petróleos poseen las mismas características fisicoquímicas. Por ejemplo, los

hidrocarburos compuestos por uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que contienen de cinco a veinte son líquidos y los de más de veinte son sólidos a temperatura y presión ambiental. Éstos se clasifican, según su estructura, en parafínicos, nafténicos y aromáticos. Los parafínicos, a su vez, pueden ser lineales o ramificados (isoparafinas) (Jafarinejad, 2017).

Los distintos tipos de petróleo poseen distintas características como lo son la densidad, la viscosidad, el color, el punto de ebullición, el punto de escurrimiento, entre otros. El color puede variar desde transparente a verde amarillento a rojo a marrón a negro (Jafarinejad, 2017) como se observa en la figura a continuación.



Figura 5: Distintos petróleos obtenidos en Argentina (Redacción Río Negro, 2020)

Cabe mencionar que, además del carbono e hidrógeno, la composición del petróleo incluye derivados del azufre y pequeñas cantidades de compuestos con átomos de nitrógeno, o de metales como hierro, níquel, cromo, vanadio y cobalto, entre otros. Todos éstos constituyen impurezas que acarrearán inconvenientes en las etapas de refinación y en el uso final de los derivados del petróleo. Por esta razón, es importante tenerlos en cuenta a la hora de construir una refinería de petróleo.

Asimismo, el petróleo crudo contiene cantidades apreciables de sales, principalmente cloruros, lo que constituye un problema para el refinador, ya que su presencia implica corrosión y taponamiento de equipos. Por ello, al entrar en el proceso de refinación, el crudo es sometido a un primer proceso de desalado (IAPG, 2011).

La clasificación del petróleo es muy importante para la industria petrolera al definir los procesos dentro de la refinería. El mismo se puede clasificar según distintos criterios como pueden ser:

- localización geográfica donde es producido
- gravedad
- contenido de azufre
- composición
- curva de destilación

La clasificación más utilizada es la desarrollada por el API (*American Petroleum Institute*) al ser el peso del crudo el determinante de su valor de mercado. Esta última se basa en la diferencia de gravedad específica o densidad medida en grados API.

- Livianos: más de 31 grados API.
- Intermedios: entre 22 y 31 grados API.
- Pesados: debajo de 22 grados API.
- Extra pesados o betunes: por debajo de 10 grados API.

Los grados API se calculan gracias a la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{\text{Gravedad específica a } 60^\circ\text{F}} - 131,5$$

Si la gravedad API es superior a 10, los crudos son más livianos que el agua y flotan, si es inferior a este valor, se hundan (IAPG, 2011).

Un reciente muestrario elaborado por YPF sobre el *shale oil* de sus diversos desarrollos en Vaca Muerta, mostró que dentro de Loma Campana se puede obtener un crudo amarronado de 42 grados API, pero también uno rojizo de 47 grados API y otro amarillento con 53 grados API. Por otro lado, el petróleo que se extrae de la Cuenca del Golfo San Jorge, el Escalante, es un petróleo pesado, de unos 24 grados API. Estas características hacen que sea un petróleo oscuro, casi negro y además denso (Redacción Río Negro, 2020).

Es importante mencionar que el contenido de azufre es una característica muy importante a tener en cuenta también ya que en el proceso de refinación debe ser removido por generar gases contaminantes al ser quemados (óxidos de azufre). Estos últimos son los principales causantes de la lluvia ácida. Por esta razón, el contenido de azufre está regulado en los combustibles comercializados a lo largo de todo el mundo. En Argentina, según la Resolución 222/2001, el contenido máximo de azufre según norma ASTM D 2622 en partes

por millón en peso es cincuenta (50) para ambas naftas y gasoil mientras que para el fueloil, según norma IRAM - IAP A 6598 medido como porcentaje en peso, es de siete décimos por ciento (0,7%). Dependiendo del contenido de este átomo, los petróleos se clasifican en dulces o ácidos. Los que poseen un contenido de azufre menor a 1wt% se llaman dulces y sino se consideran ácidos (Hyne, 2001).

En cuanto a los crudos nacionales más representativos, tales como Neuquén-Río Negro, Cañadón Seco y Escalante, son dulces y de mediana densidad. Estos crudos se producen en la zona patagónica, abarcando las provincias de Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz. En la provincia de Mendoza, se produce crudo parafínico en la zona norte y se explotan también yacimientos de crudos más pesados y agrios en el sur. En el sur de Santa Cruz, Tierra del Fuego, Salta, Jujuy y Formosa se localizan yacimientos de crudos livianos y de muy bajo contenido de azufre (IAPG, 2011).

2. Downstream: la refinación del petróleo **(Descripción del proceso productivo)**

El *downstream* incluye entonces la refinación del petróleo, el marketing y su distribución. Como este proyecto trata sobre los tratamientos líquidos de una refinería, se detallará a continuación los procesos que pueden ocurrir dentro de esta instalación para entender el origen de estos residuos.

Los principales productos que se obtienen a partir del refinado del petróleo crudo son: nafta, kerosene (querosén o queroseno), aeronafta (*jet fuel*)¹, fueloil, disolventes, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos entre otros. Algunos cortes generados en las refinерías son enviados a las petroquímicas para generar productos como solventes de pintura, insecticidas, medicinas, detergentes, plásticos, entre otros.

¹ El queroseno puede ser utilizado como combustible de aviación en los motores a reacción y de turbina de gas. El *jet fuel* es procesado a una temperatura más alta que la del queroseno para eliminar más compuestos volátiles. El *jet fuel* es combustible de aviación para reactores. El queroseno se puede considerar como un tipo de jet fuel pero no es el único corte utilizado para eso.

Fracciones	Producto	Intervalo de temperatura de ebullición	Aplicaciones
Livianas	Gas de refinería	<20 °C	Combustible para la refinería
	GLP	<20 °C	Calefacción doméstica e industrial
	Nafta	40 - 150 °C	Carburante para automóviles
	Nafta pesada	150 - 200 °C	Materia prima para productos químicos, disolventes
Medias	Querosén	170 - 250 °C	Alumbrado, carburante para turborreactores
	Gasoil	250 - 320 °C	Carburantes para motores diésel, calefacción doméstica
Pesadas	Fueloil liviano	340 - 400 °C	Combustible para buques, locomotoras, etc.
	Fueloil pesado	400 - 500 °C	Materia prima para lubricantes, ceras, cremas y aceites
	Asfalto	>500 °C	Pavimentación, techado, impermeabilización, etc.

Figura 6: Componentes separados del petróleo crudo y sus aplicaciones (IAPG, 2011)

Como antes enunciado, no todas las refinerías son iguales ya que los procesos dependen del tipo de petróleo procesado y de las regulaciones de calidad y medioambiente de cada país. Por esta razón, es fundamental conocer la clasificación del crudo y la normativa del país antes de diseñar los procesos dentro de una refinería. En función de estos procesos, existen refinerías de distintas complejidades. Las mismas pueden ser simples o complejas. Las simples están constituidas solamente por algunas unidades de procesamiento, mientras que las refinerías complejas cuentan con un número mayor.

Las refinerías argentinas procesan, en general, crudos locales, pero fueron diseñadas para procesar crudos de diversa procedencia (IPAG, 2011). Es importante diferenciar entre la capacidad de una refinería y su eficiencia. La capacidad depende de la cantidad de crudo procesado en la destilación atmosférica mientras que la eficiencia depende de su conversión en función de los distintos procesos aplicados al fondo de barril. Para medir esta capacidad de conversión, se utiliza el índice de complejidad Nelson. El mismo relaciona esta capacidad con la capacidad de destilación primaria a quien se le asigna un factor igual a 1. Este índice no sólo indica la inversión necesaria o el costo de una refinería sino también el valor agregado potencial. Por lo tanto, cuanto más grande sea su índice, mayor será el valor de la refinería, mayor el valor de sus productos y mayor su complejidad.

A continuación, se nombrarán todos los procesos que pueden ocurrir en la refinación del petróleo pero son muy pocas las refinerías que usan todos éstos en conjunto.

Los procesos de refinado son los siguientes:

- procesos de separación (destilación atmosférica, destilación al vacío, procesamiento de gas)

- procesos de conversión (craqueo térmico y catalítico, reformado, alquilación, polimerización, isomerización, *visbreaking*, *coking*)
- procesos de tratamiento (hidrotratamiento, hidrosulfuración, sudoración química, remoción de gas ácido y desasfaltado)
- Materia prima y manipulación de productos (*blending*, almacenamiento, carga y descarga)
- Instalaciones auxiliares (máquinas compresoras, sistemas de purga, torres de enfriamiento, calderas, producción de hidrógeno, planta de recuperación de sulfuro, planta de tratamiento de efluentes...) (Jafarinejad, 2017)

Seguidamente, se describirán en detalle los procesos más importantes dentro de una refinería.

2.1. Destilación fraccionada o topping

Las refinerías más simples sólo constan de este proceso. En este caso, el crudo debe ser de muy buena calidad para generar productos comercializables. La misma se conoce también como destilación atmosférica ya que ocurre a presión atmosférica. Consiste en la separación de los componentes del petróleo crudo al calentar y luego condensar las fracciones por enfriamiento.

Esta operación se realiza en un cilindro de acero llamado torre de destilación que puede tener hasta 40 metros de altura. En su interior, posee platos o bandejas perforadas. Antes de ingresar a esta torre, el crudo es calentado en un horno a alrededor de 400 °C. La parte inferior de esta torre se denomina zona *flash* y a medida que se asciende en la torre, la temperatura va disminuyendo de manera uniforme.

Los hidrocarburos vaporizados por calentamiento van elevándose por los platos hasta que hacen contacto con el plato cuya temperatura es menor a su temperatura de ebullición. En ese momento, los hidrocarburos se condensan en fracciones líquidas o cortes.

Son etapas sucesivas de evaporación y condensación. Los platos colectores extraen el líquido con las propiedades del corte especificado determinadas por el rango de temperatura de ebullición que los caracteriza. La temperatura se gradúa desde la parte superior haciendo circular parte del material condensado y frío en una operación llamada reflujo.

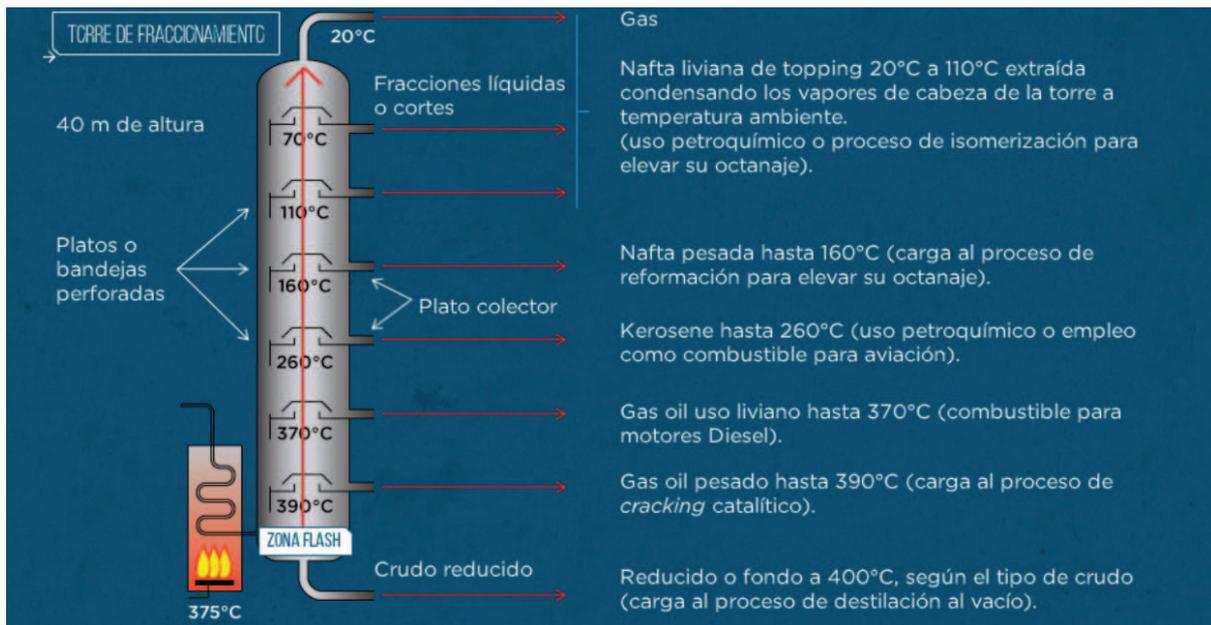


Figura 7: Esquema del proceso de destilación atmosférica y sus productos asociados
(Fuente: Curso: introducción al petróleo brindado por YPF, 2020)

Lo que define la temperatura de ebullición de cada fracción es el número de átomos de carbono que tengan en su molécula los componentes que la integran, junto con la naturaleza de éstos. Por la parte superior de la torre fraccionadora, se separan los componentes livianos hasta los butanos y nafta. El resto de los cortes, en orden creciente de rango de ebullición, serán el querosén, el gasoil liviano y el gasoil pesado. Quedará en el fondo de la torre la fracción que no destila, denominada “crudo reducido” o “residuo atmosférico” (IAPG, 2011).

El 90% del crudo es destinado a combustibles. Los productos se generan por mezcla o *blending* de cortes de distintas calidades para llegar a especificaciones necesarias al menor costo posible.

Lo que queda en el fondo de la torre, son los componentes que no se pueden separar a presión atmosférica por su alto punto de ebullición ya que aumentar la temperatura aún más generaría que se rompan las cadenas más pesadas acumulándose carbón en el equipo de destilación. Para poder seguir separando el residuo atmosférico, se realiza la destilación al vacío.

2.2. Destilación al vacío

Se procesa el crudo reducido en una torre fraccionadora que opera a vacío ya que al reducirse la presión bajan los puntos de ebullición. Esta destilación genera gasoil liviano y pesado quedando un resto asfáltico de alta densidad. Esta torre genera cortes laterales como aceites lubricantes, carga para unidades de transformación y un nuevo fondo de vacío. Este último puede ser aprovechado en las unidades de desasfaltado o por craqueo intenso en las unidades de coque para transformarse en materiales más livianos y carbón residual.

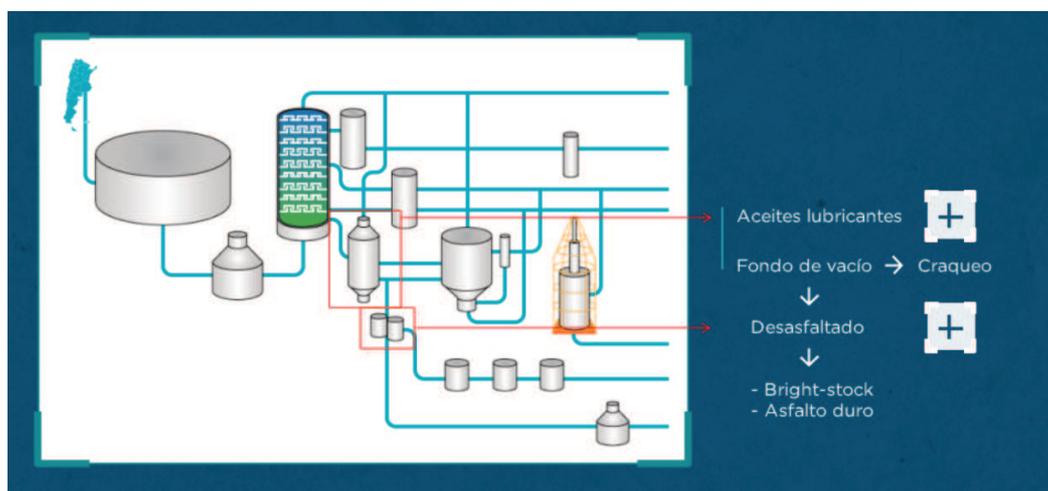


Figura 8: Destilación al vacío encuadrada en rojo) y unidades posteriores (Fuente: Curso: introducción al petróleo brindado por YPF, 2020)

Para obtener bases lubricantes, los cortes de la destilación al vacío son posteriormente desaromatizados, desparafinados e hidrogenados, utilizando procesos de cristalización, extracción por solventes e hidrogenación.

Por otro lado, el fondo de vacío se puede enviar a una unidad de desasfaltado para producir otro corte valioso, el *bright-stock* (lubricante de alto peso molecular) y un asfalto duro una vez oxidado. El *bright-stock* es refinado de la misma manera que el resto de los cortes base. Los aceites bases mezclados en proporciones adecuadas y convenientemente aditivados, constituyen los lubricantes finales. Las parafinas y asfaltos son reacondicionados para su comercialización y tienen un buen valor económico.

2.3. Procesos de separación física

Estos procesos no alteran la estructura molecular de los hidrocarburos y no dan origen a nuevos compuestos por lo que se denominan conservativos.

- **Cristalización:** separación de acuerdo con el tamaño y el tipo de moléculas, tal como en los procesos de desparafinado por enfriamiento, combinado con filtrado o centrifugado.
- **Extracción por solventes:** separación de acuerdo con el tipo de moléculas, por ejemplo la separación de compuestos aromáticos, aprovechando las diferencias en el grado de miscibilidad con un tercer componente (solvente) que puede ser furfural para mejorar aceites lubricantes.
- **Adsorción:** separación de acuerdo con el tamaño o tipo de moléculas, haciendo uso de los diferentes grados de adhesión a materiales porosos (sistemas gas/sólido y líquido/sólido).
- **Absorción:** separación de acuerdo con el tamaño o tipo de las moléculas, utilizando los diferentes grados de solubilidad en un líquido, por ejemplo, gases livianos de los más pesados (sistemas gas/líquido). (IAPG, 2009)

2.4. Procesos de conversión química

Las refinerías más complejas poseen unidades de conversión química para poder llegar a naftas de mejor calidad y generar un producto que pueda ser comercializado como nafta. Estos procesos cambian la estructura molecular y tamaño de los hidrocarburos, siendo no conservativos.

Tradicionalmente, la especificación más importante de una nafta es el número de octano, que mide la tendencia del combustible a encenderse prematuramente en un motor de combustión interna. Cuanto más alto es el número de octano, de mejor calidad es la nafta. La mayor parte de la nafta atmosférica tiene un bajo número de octano, por lo que se han diseñado procesos para mejorarlo, tales como *Reforming*, Alquilación e Isomerización. La clave para determinar cuál es el mejor destino es la cantidad relativa de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos. Si el contenido de nafténicos y aromáticos es alto, la nafta se puede convertir en un componente de mezcla de alto octanaje a través del método

de *Reforming*. Las naftas muy parafínicas, por el contrario, encuentran mejor destino como carga petroquímica (IAPG, 2011).

2.4.1. Reformado

Este proceso mejora el octanaje de la nafta pesada del *topping*, compuesta mayoritariamente por parafinas de línea recta, que no pudo enviarse directamente al *blending* gracias a un catalizador de platino a alta temperatura y bajo presión de hidrógeno. No modifica el número de carbonos pero sí cambia su estructura molecular. Se obtienen naftas de alto octanaje, hidrógeno, que se utiliza para la hidrogenación, y también aromáticos.

Hoy en día, las unidades de reformado son con regeneración continua de catalizador (CCR). En esta unidad, continuamente se extrae el catalizador del último reactor, se regenera en forma controlada y se carga al primer reactor. Con la regeneración continua, la deposición de carbón dejó de ser un problema en este procesos, porque el mismo es continuamente removido. Esto permitió el desarrollo de catalizadores más activos con el agregado de un segundo metal, comúnmente rhenio. Con estos catalizadores y operando a presión reducida, se ha llegado a un octanaje superior a 100 y a una mayor producción de hidrógeno (IAPG, 2011).

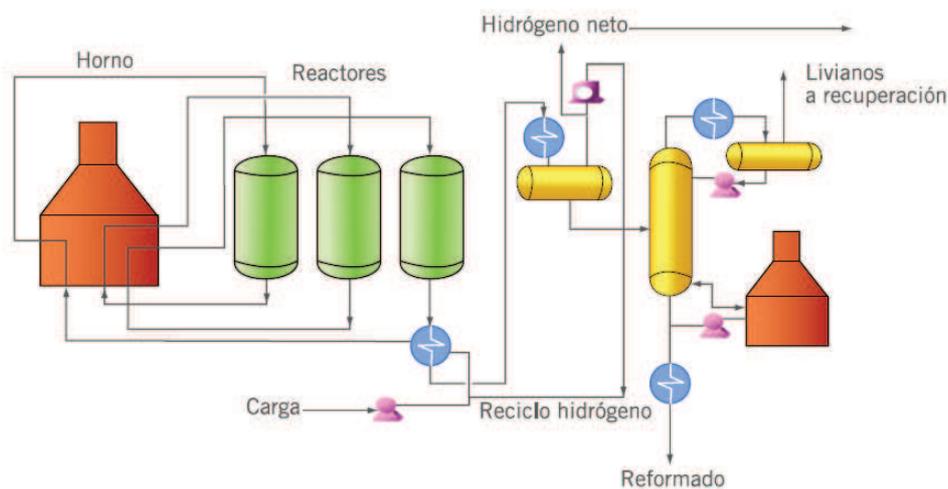


Figura 9: Esquema de reformación catalítica (IAPG, 2011)

2.4.2. Hidrogenación o hidrotratamiento

Como se mencionó anteriormente en este proyecto, es fundamental remover el azufre de los productos generados ya que es el contaminante más severo de todos los cortes además de corroer los equipos de la propia refinería.

El objetivo de este proceso es disminuir lo más posible este contaminante para cumplir las normativas haciendo reaccionar el corte con hidrógeno en presencia de un catalizador a base de cobalto y molibdeno (o níquel y molibdeno) a alta presión.

El azufre se separa como sulfuro de hidrógeno gaseoso y puede ser posteriormente utilizado como carga en los procesos de recuperación de azufre. La hidrogenación posibilita también saturar con hidrógeno las moléculas insaturadas producidas en las diferentes reacciones de craqueo, con lo cual se logra mejorar la estabilidad química de los cortes tratados ya que las olefinas son químicamente inestables y forman gomas o suciedades durante su almacenaje (IAPG, 2009).

Las refinerías que además del *topping* incluyen el reformado catalítico y el hidrotratamiento se las conoce como *Hydroskimming refinery*. Un ejemplo de esto último es la refinería YPF ubicada en Plaza Huincul.

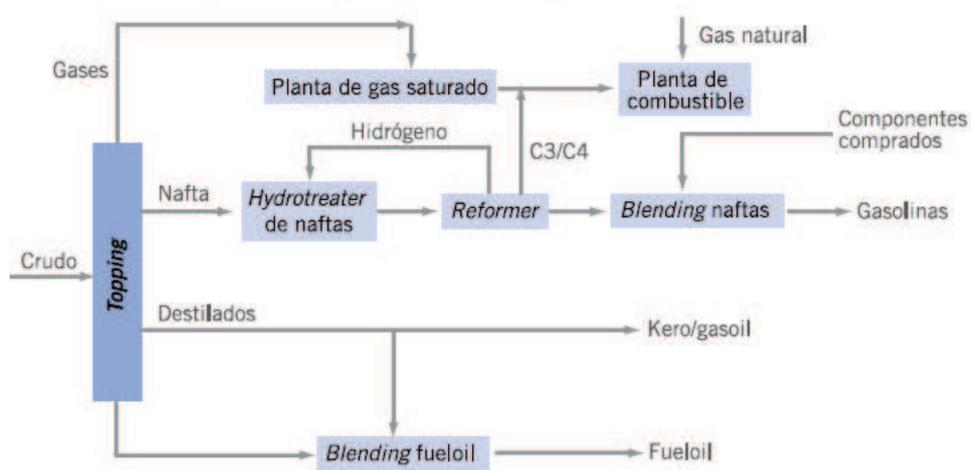


Figura 10: Esquema de una Hydroskimming refinery (IAPG, 2011)

2.4.3. Procesos de reconstrucción

Estos procesos se utilizan para poder aprovechar los gases generados como productos secundarios. Se logra reconstruyendo las moléculas para obtener HC de 8 o 7 átomos de carbono (C) a partir de HC de 3 o 4 átomos de C, aumentando así la producción de naftas.

- Polimerización: las fracciones livianas, básicamente propilenos y butilenos, reaccionan en presencia de un catalizador a base de ácido fosfórico para convertirse en naftas de buen número de octanos.
- Alquilación: el isobutano reacciona con butilenos en presencia de ácido sulfúrico o fluorhídrico, que actúan como catalizadores de la reacción, para producir cortes de nafta de alto octanaje. La contaminación ambiental que producen las unidades con ácido sulfúrico, ha hecho que se restringiera su uso, fabricándose principalmente las que utilizan ácido fluorhídrico (IAPG, 2009).
- Isomerización: un catalizador fijo en presencia de hidrógeno soluciona los problemas de contenido de plomo de los cortes livianos de nafta del *topping*. Antes, iban directamente al *blending* pero cuando aumentaron las restricciones sobre el metal se adicionó este mejoramiento al refinado. Para solucionar esto último también se adicionan a la nafta compuestos oxigenados como por ejemplo el TAME o el ETBE.

2.4.4. Craqueo térmico y catalítico

Este proceso descompone los hidrocarburos más pesados obtenidos en el *topping* en otros más livianos. Cada molécula craqueada se rompe generando una molécula parafínica saturada en hidrógeno y una molécula olefínica no saturada con gases como producto secundario.

Al comienzo de estos procesos sólo se utilizaba la acción de la temperatura (craqueo térmico), pero luego, al utilizarse un catalizador, fue posible una mayor flexibilidad, eficiencia y el uso de menores presiones y temperaturas (craqueo catalítico). Esta característica de la reacción química, sumada a la obtención de gases como productos secundarios (las naftas son los primarios) da como resultado la obtención de olefinas livianas (etileno, propileno, etc.), base de la petroquímica (IAPG, 2009).

La carga de alimentación previamente calentada entra en contacto con el catalizador, también caliente, y produce la formación de vapores que juntamente con el catalizador son

conducidos al reactor. El contacto catalizador - carga vaporizada produce la reacción de craqueo generando además carbón que se deposita en el catalizador. Posteriormente se separan y, mientras los vapores pasan a las columnas de fraccionamiento, el catalizador se deposita en el fondo de donde es transferido al regenerador para su tratamiento por quemado del carbón contaminante y manteniendo el equilibrio térmico para un nuevo ciclo. La torre fraccionadora separa los productos livianos como los gases producidos y la nafta, esta última de alto valor octánico, y cortes laterales de gas oil liviano y pesado, mientras que el producto del fondo, que todavía contiene algo del catalizador, es enviado al reactor para ser incorporado a cargas a la unidad (IAPG, 2011).

El craqueo catalítico más usado es el de craqueo fluidizado (FCC) donde el catalizador está pulverizado y es tan fino que puede fluir como un líquido.

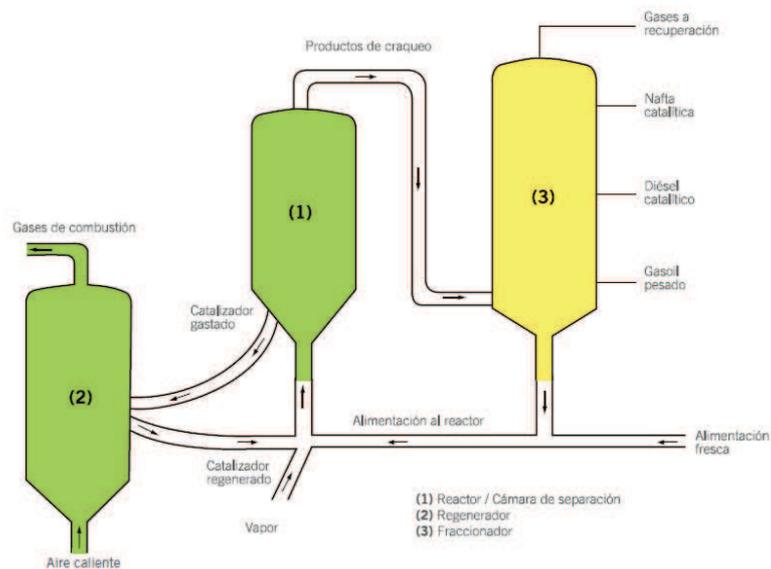


Figura 11: Esquema del craqueo catalítico (IAPG, 2011)

El agregado de este proceso, permite reducir la producción de fueloil e incrementar la de gasolinas, que puede ser superior al 50%. Además, el proceso genera olefinas para la industria petroquímica y se puede incrementar la producción de gasoil, aunque el diésel de FCC puede requerir hidrotreamiento para mejorar su calidad (IAPG, 2011).

Las *hydroskimming refineries* que agregan este paso se las denomina *cracking refinery*.

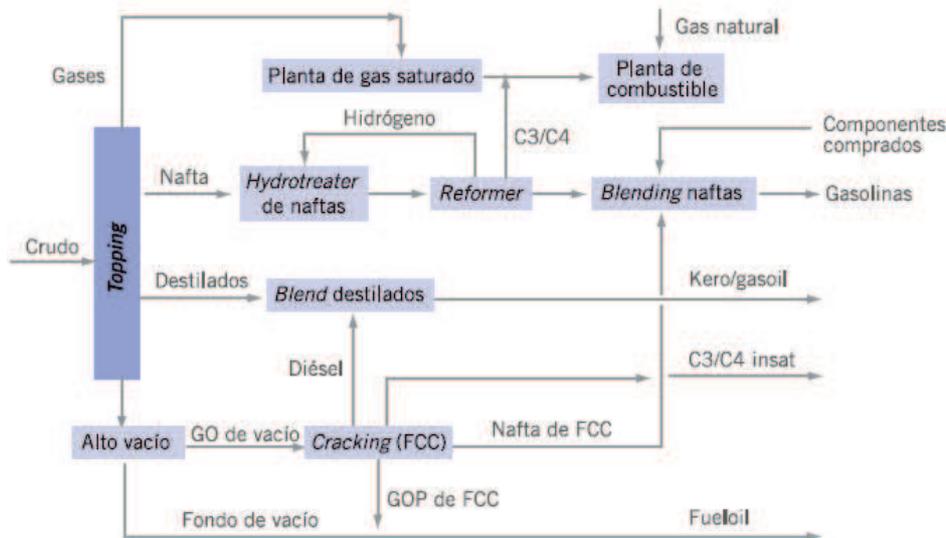


Figura 12: Esquema de una cracking refinery (IAPG, 2011)

2.4.5. Hidrocraqueo

Por medio del proceso catalítico de *hydrocracking* los hidrocarburos de alto punto de ebullición se convierten en fracciones livianas fuertemente revalorizadas. El hidrógeno aumenta la actividad catalítica y permite trabajar a menor temperatura, de manera más selectiva; los productos de reacción son saturados y predominan cadenas ramificadas. Puede considerarse como un cracking catalítico al que se le ha superpuesto una hidrogenación (IAPG, 2009). El proceso utiliza catalizadores sólidos con base de alúmina y sulfuros metálicos (de cobalto, molibdeno o níquel, o combinaciones de ellos) (IAPG, 2011).

2.5. Unidad de coque o craqueo catalítico

Al igual que el residuo atmosférico, el residuo de la destilación al vacío también puede ser aprovechado minimizando los residuos y maximizando las ganancias económicas llegando a lo que se conoce como “conversión total”. Como este corte es muy pesado y de bajo valor en el mercado, se debe transformar en cortes más livianos. Para poder lograrlo, se lo somete a craqueo térmico o *coking* (coque) en una cámara que alcanza temperaturas de 450 °C, también llamada planta de coqueo retardado.

En esta unidad se generan gases, nafta, diesel, gas oil pesado y coque, también llamado carbón. Estos productos luego se utilizan como ingresos para otros procesos de la refinería.

Este tipo de refinерías son las más complejas y permiten generar la menor cantidad de residuos posibles y trabajar con crudos de diversas calidades además de llegar a cumplir exigentes normativas. Se las conoce como *coking refinery*.

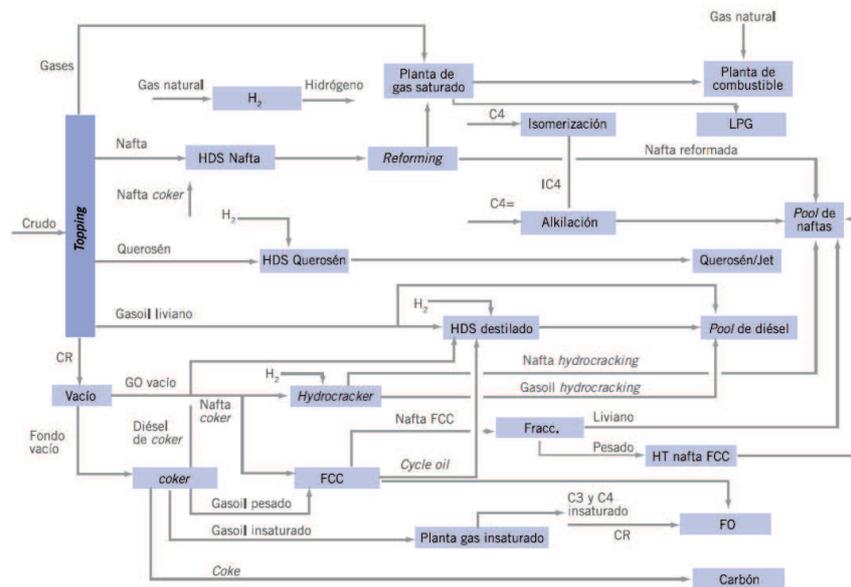


Figura 13: Esquema de una coking refinery (IAPG, 2011)

Las refinерías de YPF en La Plata, Shell en Dock Sud y Esso en Campana, son las que más se aproximan a este esquema, aunque en ningún caso es tan completo. La refinería de YPF en Luján de Cuyo, Mendoza, es la única que posee, además, hidrocrqueo en Argentina (IAPG, 2011).

2.6. Procesos de tratamiento

Estos procesos poseen el objetivo de eliminar contaminantes que pueden dañar la calidad de los productos finales, los catalizadores o equipos de la refinería por ser corrosivos pero también al medioambiente y poder cumplir con las normativas medioambientales.

2.6.1. Tratamiento previo

Como se mencionó anteriormente, el petróleo en un yacimiento viene acompañado con agua salada. Esta salinidad es transferida en parte al crudo y éste es tratado en el mismo yacimiento antes de llegar a la refinería para eliminarla. Como las concentraciones de sales siguen siendo elevadas, el primer paso del crudo dentro de una refinería es pasar por el desalador donde se disminuye la salinidad gracias a la aplicación de un campo eléctrico. Se

le quita el agua al crudo que contiene una alta proporción de las sales originales, usualmente superior al 90%.

El desalador opera en el rango de 120 a 150 °C y, a estas temperaturas, parte de las sales se hidrolizan, convirtiéndose los cloruros en ácido clorhídrico, que puede llegar a la zona de cabeza de la torre de destilación y producir corrosión. Para neutralizarlo, se inyecta una pequeña corriente de soda cáustica corriente arriba del acumulador de reflujo (IAPG, 2011).

El desalado es un paso necesario ya que previene el taponamiento por deposición de sales y reduce la corrosión generada por la formación de HCl a causa de las sales cloradas. Además, elimina los cloruros que son considerados contaminantes en la normativa ambiental de vuelco argentina.

2.6.2. Hidroprocesos

El hidrotratamiento ya fue explicado anteriormente. El objetivo del mismo es la eliminación de contaminantes sobre todo del azufre. En la hidrosulfuración las concentraciones de azufre deben ser menores a 1 ppm para proteger los catalizadores de platino. Esto se logra gracias al hidrógeno que puede ser obtenido de la unidad de reformado catalítico o, en el caso que se necesite de grandes cantidades, de la unidad de reformado con vapor creada con el objetivo de generar hidrógeno.

2.6.3. Tratamiento de gases

Los principales contaminantes presentes en el petróleo que pueden ser removidos por estos tratamientos son el azufre y el nitrógeno. Las aguas que poseen altos contenidos de azufre se las denomina aguas agrias.

El azufre es transformado en sulfuro de hidrógeno (SH_2) mientras que el nitrógeno en amoníaco (NH_3) durante el procesamiento en las unidades de hidrotratamiento, hidrocraqueo, coqueo y FCC.

El manejo del azufre dentro de la refinería comprende cuatro procesos básicos: tratamiento con aminas, *strippers* (removedores) de aguas ácidas, recuperación de azufre y tratamiento de *tail gas*, tal como se puede apreciar en el esquema siguiente (IAPG, 2011):

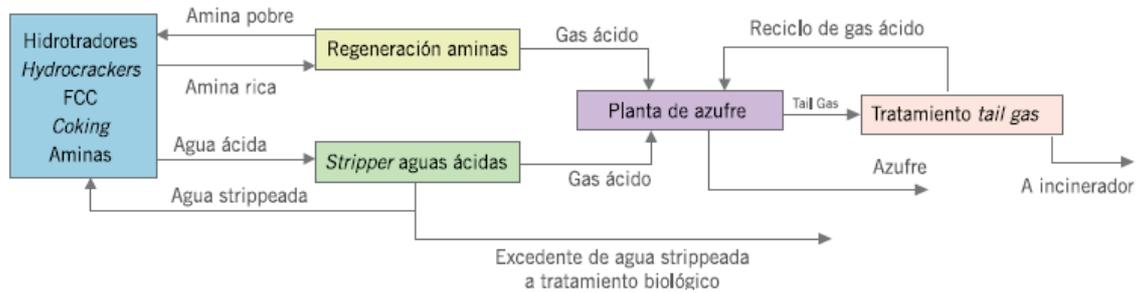


Figura 14: Esquema de tratamiento de gases y aguas ácidas (IAPG, 2011)

2.6.3.1. Tratamiento con aminas

En este proceso, una corriente de gas agrio procedente de los hidrotreatadores o de las unidades de conversión, es puesta en contacto con una solución de aminas. El SH_2 es absorbido por la amina, que deja el sistema convertido en amina rica y pasa al circuito de regeneración, se desprende del SH_2 y retornando al absorbedor como amina pobre. El gas libre de SH_2 que deja el absorbedor, ingresa al sistema de gas combustible de la refinería y el SH_2 , o gas ácido, es enviado a la unidad de producción de azufre, generalmente una unidad Claus (IAPG, 2011).

La solución de aminas es filtrada para eliminar partículas y una porción de ésta, entre 10 y 20%, pasa por un lecho de carbón activado a fin de remover hidrocarburos (IAPG, 2011).

2.6.3.2. Stripper de aguas ácidas

Cuando el vapor de *stripping*, o las aguas de lavado, que usualmente se inyectan para disolver sales corrosivas, entran en contacto con corrientes de hidrocarburos que contienen SH_2 , se forma agua ácida. Ésta también puede contener NH_3 , que proviene del nitrógeno del crudo o de amoníaco inyectado en el *topping* para combatir la corrosión, junto con fenoles, cianuros, CO_2 e incluso sales y ácidos, lo que conlleva la necesidad de su procesamiento como paso previo a disponer su destino final (IAPG, 2011).

En un diseño convencional del sistema de tratamiento, el agua ácida pasa por un separador *flash* para remover hidrocarburos e ingresa al *stripper*, que posee un *reboiler* en el fondo, para generar el vapor de *stripping* necesario, removiéndose por cabeza el SH_2 y el NH_3 (IAPG, 2011). El esquema de este proceso, se observa en la figura a continuación.

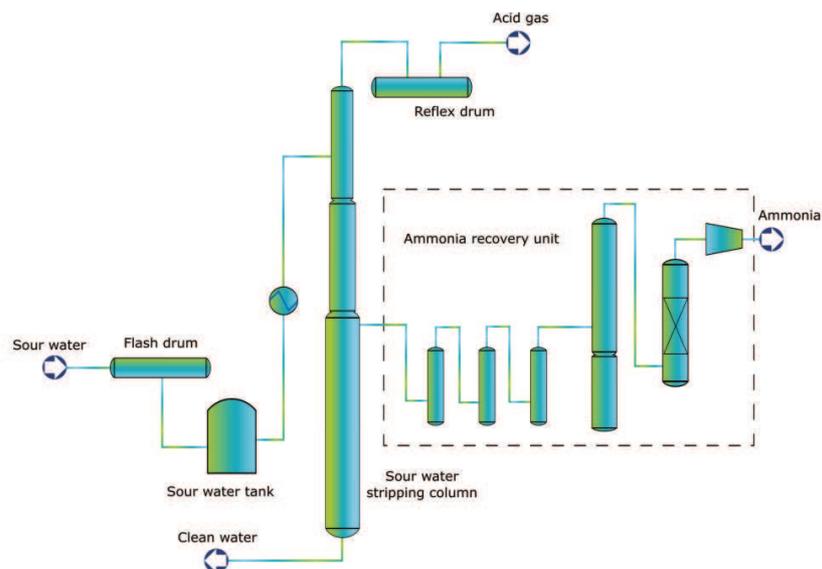


Figura 15: Esquema del proceso de aguas ácida (Fuente: Jiangnan Environmental Technology Inc)

Es deseable reciclar la mayor parte del agua así tratada, ya que puede ser utilizada en las unidades de proceso como agua de lavado. Sin embargo, si el agua ácida contiene fenoles y cianuros resulta corrosiva y puede envenenar los catalizadores, en cuyo caso debe ser sometida a tratamiento biológico (IAPG, 2011).

Las unidades que generan aguas ácidas son el desalador, el *topping*, la destilación al vacío, el craqueo catalítico, la unidad de coque, el hidrot ratamiento y el tratamiento de *tail gas*.

2.6.3.3. Recuperación de azufre: unidad Claus y tratamiento de tail gas

El proceso Claus se basa en la combustión parcial del SH_2 a SO_2 y la posterior reacción entre ambos para formar azufre elemental. El equilibrio que se alcanza en esta reacción limita la recuperación a cerca del 96%. La porción no convertida, que es una mezcla de SH_2 y SO_2 , abandona el sistema como *tail gas*, el que usualmente se incineraba a SO_2 y se ventaba. Sin embargo, el aumento de la presión sobre la preservación del medio ambiente, llevó al desarrollo de varios procesos para tratar el *tail gas* y paralelamente aumentar la recuperación de azufre hasta niveles tan altos como el 99,9% (IPAG, 2011).

Esto se logra con el proceso SCOT que consta de dos secciones: la primera de hidrogenación y la segunda con aminas selectivas. Muchas refinerías cuentan con unidades Claus pero no con tratamiento de *tail gas*.

2.7. Instalaciones auxiliares

Como se mencionó anteriormente, las refinerías poseen también instalaciones auxiliares además de los procesos ya mencionados. Algunas de ellas son las siguientes: compresores, sistemas de purga, torres de enfriamiento, calderas, producción de hidrógeno, planta de recuperación de sulfuro, planta de tratamiento de efluentes líquidos, intercambiadores de calor y hornos, bombas, unidades para recuperar el sulfuro de hidrógeno del gas producido y convertirlo en azufre elemental o ácido sulfúrico, estaciones de energía eléctrica, almacenamiento de tanques y coque, planta de agua...

3. Escenario energético

3.1. Escenario energético mundial

A lo largo de los años, la necesidad de generar energía fue creciendo por el aumento en la población, en su calidad de vida y en el nivel de riqueza.

En la actualidad, el petróleo genera el 40% de la energía primaria que se consume en el planeta, da origen al 90% de los combustibles que se utilizan para el transporte y a una larga lista de productos petroquímicos que son parte de nuestra cotidianeidad (IAPG, 2011).

El carbón es la principal fuente de energía a nivel mundial para generar electricidad. Este no es el caso de Argentina que, aunque al igual que el resto del mundo utiliza un alto porcentaje de combustibles fósiles, la participación del carbón en la matriz primaria es mínima (Golombek y Ruiz, 2017).

3.1.1. Consecuencias del crecimiento en la demanda de energía

Este crecimiento en el consumo de energía, a través del consumo de combustibles fósiles, trae aparejado un aumento en la contaminación del planeta. No sólo se liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera sino que las refinerías manejan materias primas y productos muy contaminantes. Un derrame de petróleo en un río genera un gran impacto negativo no sólo a la fauna y a la flora sino a la salud humana al ser tóxicas y cancerígenas. Otro problema es el uso desmesurado de agua que necesitan estas industrias y cómo las

contaminan. La demanda de agua es de hasta 3 m³ por cada tonelada de petróleo procesada (US EPA, 1980, 1982; WB, 1998).

Para evitar esta contaminación excesiva es fundamental tratar las aguas generadas durante el proceso de la refinación. Esto último será tratado en detalle en este proyecto.

3.1.2. Posibles soluciones a la contaminación generada

Además del tratamiento de las aguas residuales, los gobiernos a lo largo del planeta, se han propuesto distintos objetivos para reducir al mínimo esta contaminación generada. Por un lado, los protocolos de las Naciones Unidas como el Protocolo de Kioto, ratificado en Argentina a través de la Ley N° 25.438, donde hubo un compromiso a adoptar políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero o el Acuerdo de París, ratificado mediante la ley N° 27.270.

Por otro lado, Argentina y muchos países del mundo, se comprometieron a alinearse con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) adoptando la Agenda 2030. Si bien las metas expresan las aspiraciones a nivel mundial, cada gobierno fija sus propias metas nacionales en función de las circunstancias del país. Los ODS que se aplicarían para disminuir esta contaminación serían los siguientes:

- Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento
- Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante
- Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura
- Objetivo 12: Producción y consumo responsable
- Objetivo 13: Acción por el clima
- Objetivo 14: Vida submarina
- Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres

Estos objetivos impulsan a aumentar el uso de energías renovables y limpias para el crecimiento energético además del uso racional del agua y su tratamiento para mantener los ecosistemas. Como se observará a continuación, aún es muy pequeño el porcentaje que ocupan estas energías en la matriz energética de Argentina y, por esta razón, es fundamental seguir utilizando combustibles fósiles hasta que estas energías puedan ser desarrolladas en mayor medida. Cabe mencionar que, además de generar energía para las industrias o el transporte, el petróleo se utiliza para otro montón de aplicaciones como lo

son los medicamentos, plásticos, solventes, pinturas... que no pueden ser reemplazados por energías renovables aún.

Recién en los últimos años, la evolución tecnológica ha permitido bajar significativamente los costos para generar electricidad a partir de la energía eólica o solar, lo que ha impulsado el crecimiento de estas fuentes de energía (Golombek y Ruiz, 2017).

3.2. Escenario energético en la Argentina

En el año 2018, el 87% de la oferta interna de Argentina total de energía provino de los combustibles fósiles quedando un bajo peso relativo de otras fuentes como la energía hidroeléctrica y la nuclear. Respecto de las energías renovables, al año 2018 sólo representaban el 5% de la oferta, destacándose las fuentes más convencionales como leña y bagazo (Mastronardi et.al, 2019). La matriz energética argentina en el año 2018 se ve reflejada en el gráfico a continuación.

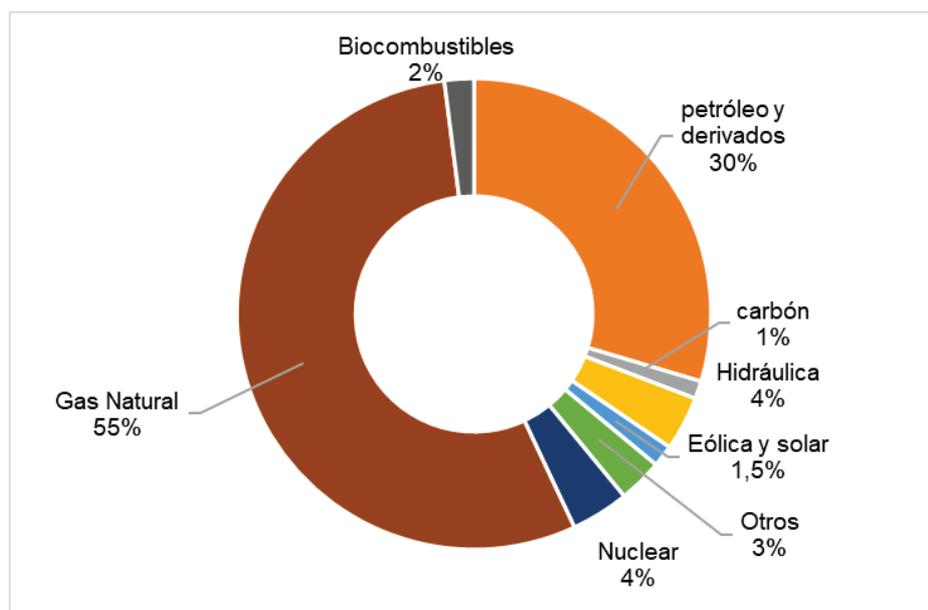


Figura 16: Matriz energética argentina en el año 2018 (Elaboración propia, fuente: Secretaría de energía, 2018)

Se puede observar, en la figura 16, que los combustibles fósiles predominan mientras que las energías renovables sólo generan una pequeña porción. Sin embargo, a lo largo de los años la participación de esta última está en aumento.

Este aumento encamina al país a cumplir las metas de incorporación de energías limpias que plantea la Ley nacional 27.191, modificada de la ley 26.190 sobre el Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica, además de los ODS planteados anteriormente.

La Ley 27.191 establece “lograr una contribución de las fuentes renovables de energía hasta alcanzar el veinte por ciento (20%) del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2025. [Y luego] al 31 de diciembre de 2030, deberá alcanzarse como mínimo una contribución del treinta y cinco por ciento (35%)” (Singh, 2020). También existen metas intermedias. Y, si bien la meta de 2019 que fue fijada en el 12% no pudo concretarse sí pudo realizarse en el 2020 como se observa en el gráfico a continuación.

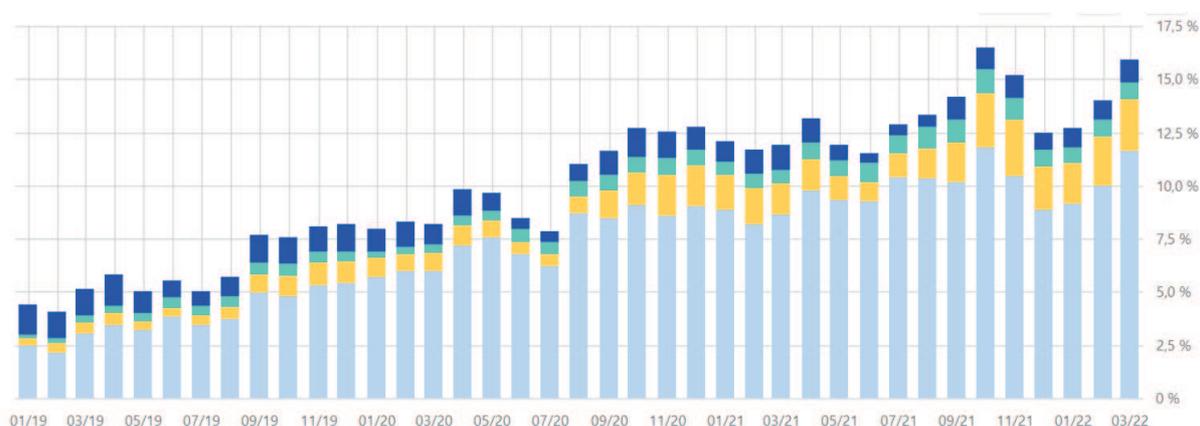


Figura 17: Participación por tecnología renovable (%) en el cubrimiento de la demanda total argentina (CAMMESA, 2022)

A partir de la figura 17, se puede observar el gran aumento de la participación de las energías renovables desde el 2018 hasta hoy día. Este aumento es de 6 veces. Además, se ve como la energía fotovoltaica fue tomando mayor lugar en la matriz.

Para lograr que la matriz energética nacional en el 2030, sea 35% a partir de energías renovables, los artículos 8 y 9 de la ley 27.191 definen que los grandes usuarios del Mercado eléctrico mayorista (MEM) y las grandes demandas con potencias mayores o igual a 300 kW deberán, al 31 de diciembre de 2025, alcanzar como mínimo el veinte por ciento (20%) del total del consumo propio de energía eléctrica con energías renovables. La misma podrá ser autogenerada o contratada a través de la compra de energía proveniente de diferentes fuentes renovables de generación. La compra se puede realizar al propio generador, a través de una distribuidora que la adquiera en su nombre a un generador, de

un comercializador o comprando directamente a CAMMESA bajo las estipulaciones que, para ello, establezca la Autoridad de Aplicación (artículo 9 de la Ley 27.191).

Otra ley que impulsa el aumento en las energías renovables de la matriz es la Ley 27.424 sobre el Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. La misma contempla la generación de electricidad a nivel residencial y comercial/industrial, conectada a la red, empleando fuentes renovables. Esta medida propone que una parte de la generación se realice directamente en los puntos de consumo, disminuyendo la carga sobre los sistemas de transporte y distribución de energía. No sólo para su autoconsumo sino también con eventual inyección de excedentes a la red dejando así un saldo positivo en la factura de luz. No todas las provincias de Argentina están adheridas a esta ley. Algunas no permiten inyección y otras poseen su propia ley. En el caso de Buenos Aires, donde está localizado este proyecto, la cámara de diputados aprobó la ley en mayo 2021 pero aún no fue reglamentada por lo que, en febrero 2022, aún no se puede realizar inyección a red en La Plata pero sí podrá realizarse en un corto plazo futuro.

Estas leyes promueven la disminución de la contaminación generada por el consumo de combustibles fósiles y además ayudan a cumplir las metas seteadas para promulgar el ODS 7 que se observan a continuación:

- Meta 7.1. De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
- Meta 7.2. De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- Meta 7.3. De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. (Singh, 2020)

3.3. Consumo energético de las refinerías

Las refinerías son grandes usuarios demandantes ya que el consumo energético es muy elevado y superan los 300 kW de potencia contratada. Según la Comisión Europea y el Centro común de investigación (2013), la producción de energía consumida en los procesos dentro de la refinería es responsable de generar más del 60% de las emisiones gaseosas de la misma. Tanto es el consumo energético, que parte del mismo es alimentado por el gas emanado de las refinerías (gas de refinería) como excedente de sus procesos, compuesto en general por hidrógeno, metano, etileno y otros gases, como nitrógeno o anhídrido carbónico además de poseer instalaciones de generación eléctrica propias.

Es una industria que requiere mantener su operación de manera continua, los 365 días del año y las 24 horas del día. Por esta razón, es necesario contar con un gran número de empleados, automatización, sistemas de seguridad y almacenamiento. El consumo de energía es intensivo ya que muchos de sus procesos requieren de muy altas temperaturas y alta presión. En general, el consumo de energía de las refinerías viene dado en forma de: combustible, vapor y electricidad y varía de refinería en refinería dependiendo de los procesos de la misma (Materán Sánchez, 2018).

Los motores eléctricos representan alrededor del 80% del uso de electricidad de una refinería. Las aplicaciones principales son 60% bombas, 15% compresores de aire, 9% ventiladores y 16% otras aplicaciones. Esto convierte a las bombas en el equipo de mayor consumo de electricidad, requiriendo alrededor del 48% del consumo de energía eléctrica total en una refinería (Energy Star, 2015).

4. Construcción de una nueva refinería

Como se mencionó en el inciso anterior, todavía la capacidad de generación de las energías renovables no es suficiente para reemplazar los combustibles fósiles totalmente. Además, el petróleo no sirve sólo para generar energía y combustibles sino también para el asfalto de las calles, medicamentos, solventes...

El aumento de la generación de energía trae aparejado entonces el crecimiento en la demanda de los derivados del petróleo. Además, cada día existen normas más restrictivas en la calidad de los combustibles y en las regulaciones ambientales. Esto último conlleva procesos cada vez más complejos en las refinerías para obtener productos de mayor calidad a partir de crudos de menor calidad. Es decir, las refinerías cada vez deben poseer mayor capacidad pero también ser más eficaces.

Tales desafíos continuarán y se acrecentarán en el futuro ya que se prevé un aumento importante de la capacidad de refinación necesaria para los próximos años. Según el IAPG, la Argentina y el mundo entero continuarán dependiendo principalmente del petróleo para satisfacer sus necesidades energéticas por lo menos por los próximos 40 o 50 años.

En el año 2011, el conjunto de las refinerías del mundo procesaban unos 82 millones de barriles por día de petróleo y se espera que en el año 2030 las necesidades superen los 100 millones de barriles por día, esto significa un crecimiento del 25% (IAPG, 2011).

López Anadón, presidente de IAPG en 2011, predijo que, con un moderado crecimiento del PBI del 3% por año, para abastecer la mayor demanda de combustibles asociados a este crecimiento, la Argentina debería contar hacia el año 2020 con una capacidad adicional de refinación del orden de 150 mil barriles por día. Todo este incremento de capacidad y la estructura logística asociada, necesitaría ser construido ya que no existía hasta el momento la capacidad para procesar ese excedente disponible. Mencionó también que, para poder realizarlo, sería necesario una instalación adicional, similar a la mayor refinería existente en ese momento en el país e implicaría un aumento de la capacidad total de 630 mil barriles por día procesada en 2011, a casi 800 mil barriles por día.

Es así que, en el año 2020, se comprobó que estas predicciones eran certeras. A raíz del crecimiento generado en la necesidad de refinación del crudo por el boom de vaca muerta y por el aumento en las necesidades energéticas de la población, se construyó una nueva refinería de última generación en Berisso, Buenos Aires, Argentina ². Para poder entrar efectivamente en funcionamiento, la misma debe poseer una planta de tratamiento de efluentes líquidos (PTEL) para cumplir con la normativa global y local.

4.1. Objetivo del proyecto

El objetivo principal del proyecto es establecer un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos de la nueva refinería para lograr disminuir sus valores de contaminación y establecerlos por debajo de los niveles máximos establecidos por la normativa protegiendo la salud privada, pública y la preservación del medio ambiente además de permitir el funcionamiento de la misma.

Por filosofía de la empresa contratante, esta nueva refinería aspira a ser una refinería más sustentable y tecnológica implementando nuevas automatizaciones y disminuyendo lo más posible su huella de carbono. Para hacer los procesos más eficientes y hacer la actividad menos intensiva en carbono, se integrarán las energías renovables en las operaciones de

² A los fines de este proyecto, se asumió la construcción de una nueva refinería en Argentina pero esto último en la realidad aún no ha ocurrido.

refino mediante la producción de hidrógeno verde y la incorporación de electricidad de origen renovable para los procesos industriales.

Por esta razón, el segundo objetivo de este proyecto es el de alimentar la mayor parte de la PTEL con energía renovable. Además, implementando esta tecnología, la refinería puede seguir los lineamientos de las normas ISO 14.001, los ODS y la ley 27.191 mencionada anteriormente. De esta manera, podrá también reducir su costo en energía. Dadas las condiciones ambientales de La Plata, y debido a que la refinería no genera la suficiente cantidad de residuos compostables, se decidió implementar, en este proyecto, un sistema fotovoltaico para aprovechar la energía solar dada la buena irradiación de la zona.

4.2. Justificación del proyecto

Más allá de la necesidad de cumplir la legislación de La Plata, se presentan a continuación, tres justificaciones relacionadas al impacto social, económico, ambiental y tecnológico.

4.2.1. Justificación socio-económica

Al desarrollarse este proyecto, se contribuiría a la generación de empleo debido al requerimiento de personal para su instalación y operación. Tanto de la PTEL como del sistema fotovoltaico.

La instalación de la planta de tratamiento de efluentes conllevará a un ahorro a la refinería al evitar sanciones producto de no cumplir con la normativa legal vigente.

Al implementar energías renovables, se disminuirá el costo del consumo energético y se impulsará a ser una refinería más sustentable promoviendo los ODS. Ayudando tanto a la reducción de costos como también a la concientización de la sociedad.

4.2.2. Justificación ambiental

El cuidado del medio ambiente es un tema muy importante, y específicamente la contaminación del agua, la cual, es la mayor receptora de los efluentes industriales líquidos generados por el humano. Con el desarrollo de este proyecto, se reducirá la carga contaminante de los efluentes, reduciendo de esta manera el impacto ambiental de los mismos.

La implementación de energía renovable contribuirá a la disminución de los contaminantes generados en la generación de energía eléctrica, sobre todo de gases de efecto invernadero.

4.2.3. Justificación tecnológica

El desarrollo del proyecto, permitirá el uso de una alternativa tecnológicamente viable, que mitigue la contaminación de la refinería al cuerpo receptor y además se cumpla con la normativa legal vigente.

El uso de un sistema fotovoltaico permitirá la implementación de equipos de última generación para la creación limpia de energía.

5. Descripción del caso de estudio

En la descripción del caso de estudio, se describirá qué tipo de refinería fue construida, es decir qué procesos ocurren en la misma. A raíz de estos procesos, se hará un apartado sobre el agua generada en los mismos y qué contaminantes posee. A partir de la cuantificación de estos contaminantes es que se puede dimensionar la PTEL. Una vez dimensionada, se podrá conocer la cantidad de energía consumida y cuánto de la misma provendrá de fuentes renovables.

5.1. Localización de la refinería

La misma se ubica en Argentina, Gran La Plata, a 4 km del Puerto La Plata por ser un lugar estratégico. Se encuentra en el partido de Berisso y ocupa un espacio de 249 ha.

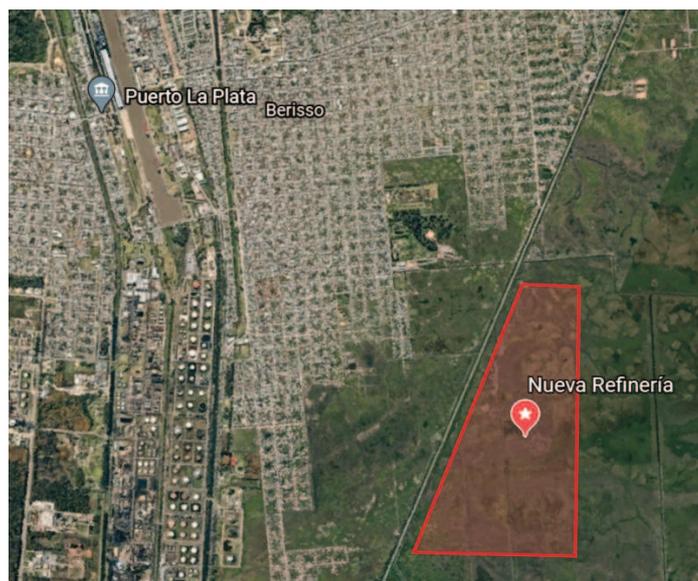


Figura 18: Ubicación de la nueva refinería en Berisso, coordenadas $34^{\circ}54'30''S$, $57^{\circ}53'22''W$
(Fuente: GoogleEarth, Elaboración propia)

La región del Gran La Plata, ubicada a 60 km al sur de la ciudad de Buenos Aires, comprende los partidos de La Plata, Ensenada y Berisso, jurisdicción municipal dentro de la que se ubica el proyecto, conformando desde el punto de vista de los procesos socioeconómicos y políticos un conglomerado urbano con dinámicas en común.

La zona geográfica donde se emplaza la nueva refinería será tratada en detalle en la sección 10, Evaluación de impacto ambiental (EIA) del proyecto.

Al no estar la refinería al lado del río, los efluentes de la PTEL serán volcados al conducto pluvial que terminarán luego en el Canal Santiago Este.

5.2. Descripción de la refinería

Es una refinería de tipo *coking refinery*, es decir que además del *topping*, la destilación al vacío, el reformado, hidrot ratamiento y el craqueo catalítico, también posee una unidad de coque para aprovechar al máximo posible los recursos disminuyendo los residuos. Además de estos procesos principales, también posee procesos de separación física como extracción por solvente y procesos de tratamiento como *stripper* de agua ácidas, una unidad Claus y tratamiento de *tail gas*, albergando 26 plantas de procesos. En el predio se encuentra además un parque de tanques y una planta de aguas.

Posee dos unidades de craqueo catalítico fluidizado y dos unidades de coqueo térmico. El índice de complejidad Nelson es de 8,3, siendo una refinería de alto valor, teniendo en cuenta que el promedio de las refinerías en Europa es de 6,5. Es una refinería muy compleja ya que al querer ser una refinería lo más sustentable posible y tecnológica, se aprovecha al máximo el crudo y se construyó con la mayor cantidad de tratamientos posibles.

Un esquema de los procesos que ocurren dentro de esta refinería, se puede ver en la figura a continuación.

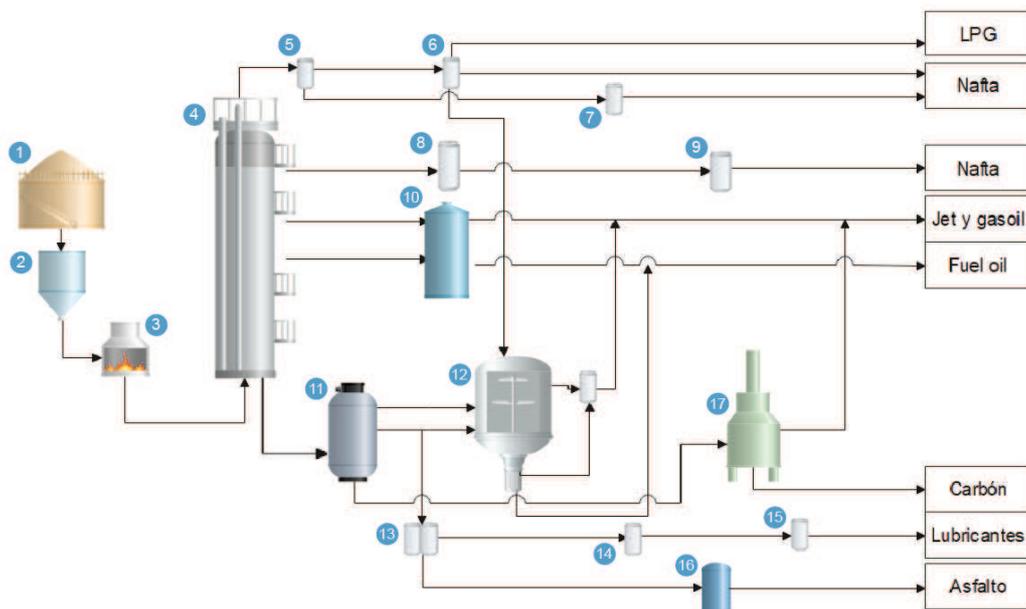


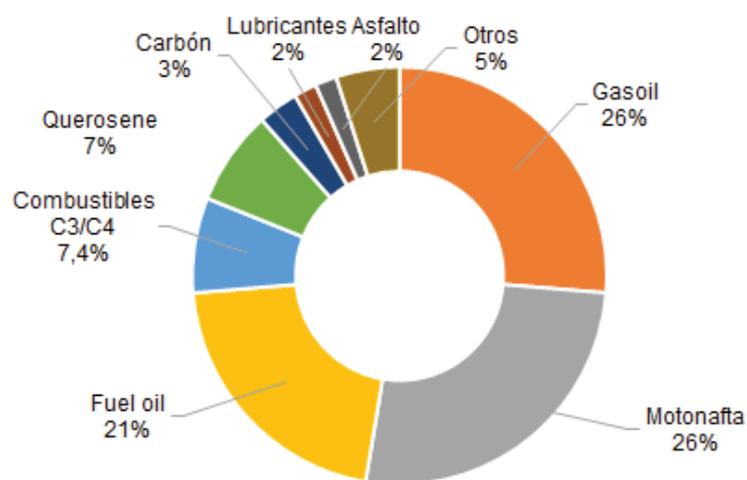
Figura 19: Esquema de la refinería en cuestión y los principales productos obtenidos. 1:Tanque de almacenamiento de crudo; 2:Desalador; 3:Horno; 4:Topping; 5:Separación de gases; 6:Polimerización; 7:Alquilación; 8:Reformado; 9:Tratamiento con hidrógeno; 10:Desulfurización; 11:Destilación al vacío; 12:FCC; 13:Desasfaltado; 14:Extracción por solventes; 15:Hidrotratamiento; 16:Oxigenación; 17:Unidad de coque (Fuente: Elaboración propia) - LPG corresponde a gas licuado de petróleo

Cuenta, además, con una planta de elaboración de bases lubricantes, parafinas, extractos aromáticos y asfaltos y materia prima para productos petroquímicos.

Como se mencionó anteriormente, es importante conocer el origen del crudo, sobre todo su calidad, para saber qué procesos son necesarios a la hora de obtener productos comercializables. Esta refinería recibe crudos de casi todas las cuencas productivas del

país pero sobre todo de Vaca Muerta y el Sur del país. Estos crudos son desde dulces a agrios y desde 24 a 42 grados API, calidad que puede ir variando de acuerdo a la producción y mezcla de crudos, desde los campos petroleros de la Región. Por esta razón, una de las causas de su gran complejidad es que la misma fue diseñada para procesar crudos de diversa procedencia.

La capacidad de refinación del crudo es de 28.000 m³ por día. Se generan materias primas petroquímicas junto con 14 productos básicos para lubricantes y especialidades: nafta, kerosene, aeronafta, fueloil, disolventes, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos entre otros de los 170 productos generados. Los porcentajes de los principales productos obtenidos a partir del crudo, se observan en el gráfico a continuación.



*Figura 20: Porcentaje de los distintos productos obtenidos en los procesos de refinado
(Fuente: Elaboración propia)*

En la misma hay un total de 3.400 trabajadores. Los turnos del personal que sustentan este trabajo son de 8.00 a 12.00 y 13.30 a 17.00 para el área administrativa y tres turnos de 8 horas para el personal técnico y operativo en planta ya que la refinería trabaja las 24 horas al día con un cronograma laboral de 6 días en refinería y 4 de descanso.

5.3. Agua dentro de la refinería

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas que poseen las refinerías es que son industrias que consumen mucha agua. La demanda de agua es de

hasta 3 m³ por cada tonelada de petróleo procesada (US EPA, 1980, 1982; WB, 1998). Por esta razón, es fundamental utilizar el agua de manera consciente y disminuir al máximo su uso tanto disminuyendo el consumo como reciclándola.

El objetivo de este proyecto se centra en el agua que no puede ser reciclada y debe ser tratada antes de ser desechada. Para poder diseñar la mejor manera para eliminar los contaminantes, es necesario primero identificar los procesos que generan agua de desecho (agua contaminada) dentro de la refinería.

Muchos de los procesos dentro de una refinería requieren del uso de agua. Parte de esta última, se pierde como vapor, evaporaciones del sistema de enfriamiento y rocío. También, una parte del agua sale formando parte de los productos. Los ingresos y egresos del agua dentro de la refinería se pueden observar en la figura a continuación.

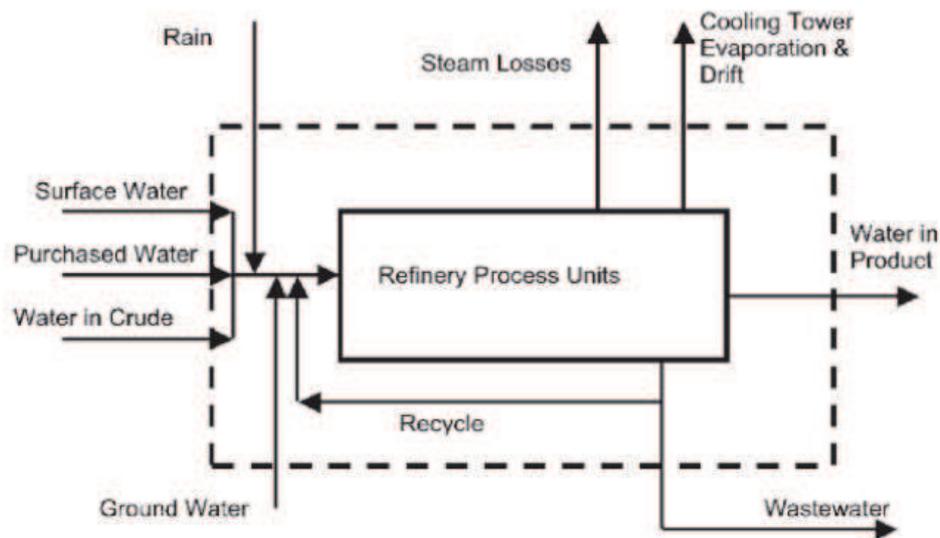


Figura 21: Egresos e ingresos de agua hacia y desde la refinería (IPIECA, 2010)

5.3.1. Ingresos de agua

En el caso de la refinería en cuestión, la mayor parte del agua utilizada en los procesos es obtenida del Canal Santiago Este³, el mismo se encuentra a unos 2 km de distancia como se observa en la figura a continuación.

³ En lo que respecta a la calidad de agua de este Canal, se puede observar mayor información en el punto 10 de este proyecto (Evaluación de impacto ambiental).

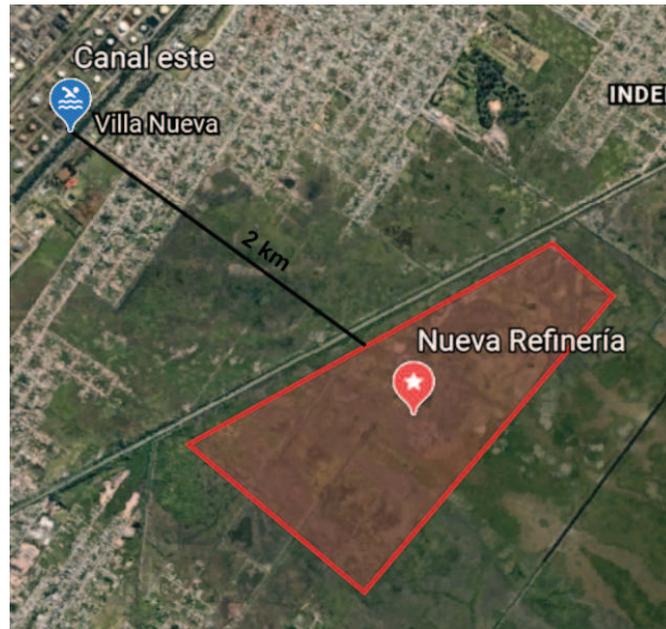


Figura 22: Distancia entre el Canal este y la nueva refinería (Fuente: Google Earth, Elaboración propia)

Como el agua del canal posee un alto nivel de sólidos suspendidos y turbidez, la misma debe ser pretratada antes de ser utilizada en los procesos. Por esta razón, una vez el agua ingresa en la refinería se trata para darle los siguientes usos en la Planta de aguas:

- Agua para regar
- Agua desmineralizada para generación de vapor en las calderas y para la generación de energía
- Agua de reserva para afrontar emergencias de incendio y mitigación
- Agua para los sistemas de enfriamiento de equipos
- Agua para limpieza de equipos y unidades (Ortiz, de Casas, 2006)
- Agua para los procesos

En esta planta también ingresa el agua de lluvia recolectada mediante los desagües pluviales. Básicamente se producen tres calidades de agua diferente: la industrial, la sanitaria y la desmineralizada. El agua industrial se utiliza más que nada en los procesos de enfriamiento, el agua sanitaria para usos sanitarios del complejo y el agua desmineralizada mayormente para su utilización en calderas.

Por otro lado, el agua potable utilizada por los trabajadores proviene del agua de red de La Plata.

Otras fuentes de agua del sistema son:

- el agua dentro del crudo que es removida como sedimento y agua del fondo de los tanques o del desalador que luego es enviada a la PTEL
- La lluvia que debe ser tratada ya que al caer en el suelo suele estar en contacto con el crudo que puede volcarse de los tanques. Parte de la misma es acumulada antes de que toque el suelo para ser enviada a la planta de aguas

Según Petia Nacheva, alrededor del 48% de toda el agua consumida termina en la PTEL. En la nueva refinería, el caudal de agua consumido es de 651 m³/hora. De este consumo, lo que llega a la PTEL son 280 m³/hora. Este porcentaje es del 43% a causa de todos los esfuerzos realizados en el diseño de la refinería para reciclar la mayor cantidad de agua posible. Los mismos se ven reflejados también en el consumo de agua por tonelada de crudo procesado. En esta refinería esta relación es de 0,7 m³ de agua por cada tonelada de crudo procesada, en contraste con los valores cercanos a 2 y 3 mencionados tanto por la US EPA como por Nacheva.

A continuación, se puede observar la distribución de los usos del consumo de agua. La mayor cantidad de agua es utilizada en las torres de enfriamiento.

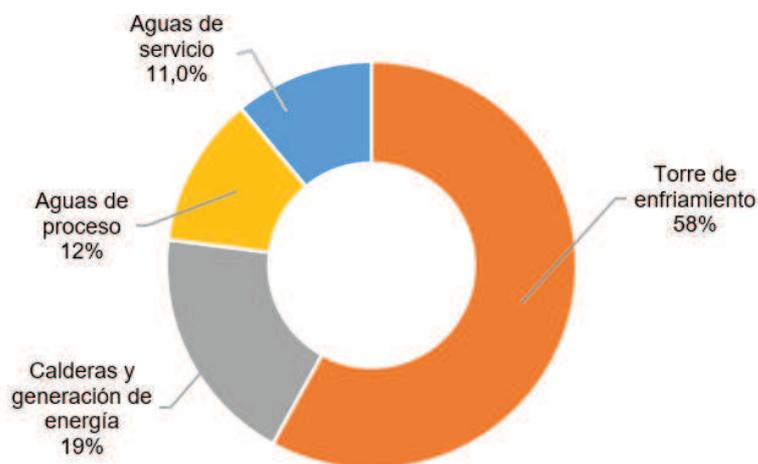


Figura 23: Distribución del uso del agua en la refinería (Fuente: Elaboración propia)

Cabe aclarar que el agua de servicios compone el agua para emergencias y el agua para limpieza.

5.3.2. Egresos de agua

Los efluentes líquidos generados en esta refinería provienen entonces de dos corrientes líquidas distintas. Por un lado, una corriente compuesta por el excedente de agua tomada del Canal Santiago, el rechazo de las plantas desmineralizadoras y las purgas y lavados de equipos de la planta de clarificación y filtrado además de las evaporaciones. Esta corriente no posee ningún tipo de tratamiento ya que está exenta de todo tipo de componentes derivados del crudo o impurezas.

Por otro lado, están los efluentes líquidos provenientes de las unidades de procesos y de las purgas de tanques de almacenamiento de crudos y productos terminados del Complejo Industrial. La composición de estos efluentes, que contienen componentes derivados del proceso de refinación y purgas de tanques, recibe un tratamiento especial a fin de adecuarla a la reglamentación y antes de su vuelco al conducto pluvial en la PTEL. Las corrientes que integran estos efluentes industriales son:

- Desagües pluviales
- Agua de lavado de plantas
- Purga de tanques de crudo, productos intermedios y productos terminados
- Purgas de las operaciones: desaladores, pérdidas de bombas y sacamuestras
- Aguas de proceso: lavado de gases, condensado de despojamiento con vapor de HC livianos...
- Agua para alimentación de las calderas
- Purgas de agua de enfriamiento y de calderas

La mayor parte del caudal proviene de las aguas de procesos.

Los contaminantes que pueden encontrarse en estas aguas que integran el alfuente a la PTEL son:

- Hidrocarburos libres, emulsionados o disueltos
- Sulfuros
- Fenoles
- Nitrógeno amoniacal
- DBO
- DQO
- Cloruros

- Hierro y magnesio
- Alcalinidad y dureza
- Sólidos disueltos y suspendidos
- Conductividad
- Sílice
- Metales (IPIECA, 2010)
- VOC
- BTX

Según la EPA, los parámetros seleccionados para las limitaciones guías de los efluentes son DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, compuestos fenólicos, compuestos nitrogenados, sulfuros, cromo total, cromo hexavalente y pH.

5.3.2.1. Aguas de proceso

Estas aguas son las que estuvieron en contacto íntimo con los hidrocarburos. Es decir, las aguas del desalador, aguas ácidas, fondos de tanques y soda cáustica usada. A continuación, se describirán los contaminantes presentes en cada una de estas aguas.

5.3.2.1.1. Agua del desalador

Parte de los lodos de perforación que vienen con el crudo tienden a acumularse en el desalador. Los mismos se remueven gracias a un lavado periódico y van a la PTEL.

Los contaminantes encontrados en el agua de desalado son DQO (entre 400 y 1000 ppm), hidrocarburos (hasta 1000 ppm), sólidos suspendidos (hasta 500 ppm), fenoles (de 10 a 100 ppm), benceno (de 5 a 15 ppm), sulfatos (hasta 100 ppm) y amonio (hasta 100 ppm) (IPIECA, 2010).

Cabe mencionar que, en Argentina, el petróleo que viene de la zona de Neuquén y Mendoza presenta salinidades extremadamente altas (superando ampliamente el agua de mar) por lo que el proceso de desalado es fundamental para obtener valores de salinidad no corrosivos y aptos para la PTEL.

5.3.2.1.2. Aguas ácidas

Como se mencionó anteriormente, las aguas ácidas que se generan por la utilización de vapor en la refinería están en contacto con HC que contienen H₂S y NH₃. Estos compuestos son absorbidos en el agua a niveles que requieren de un tratamiento especial. En esta

refinería, estas aguas pasan previamente por el *stripper* de aguas ácidas descrito con anterioridad en este proyecto.

Se hace entonces una segregación interna de sus aguas residuales para tratar separadamente las aguas ácidas, en vez de juntar todas las corrientes y hacerlas pasar por todo el tren de tratamiento. Esto permite un uso más eficiente y evita el diseño de equipos sobredimensionados.

La mayoría de estas aguas son recicladas en la refinería luego de ser enviadas a los *strippers* de aguas ácidas. Las que poseen cianuros y fenoles, generadas principalmente en la unidad de coqueo y el craqueo catalítico, reducen su cantidad de fenoles en un 90% en el tratamiento de *strippers* disminuyendo mucho la cantidad de fenoles que llegan a la PTEL. También se reducen los compuestos nitrogenados obteniendos a menos de 1 ppm de H₂S y menos de 30 ppm en NH₃.

Los contaminantes presentes en estas aguas luego de pasar por el *stripper* son DQO (desde 600 a 1200 ppm), menos de 10 ppm de hidrocarburos (la mayoría es recuperado), menos de 10 ppm de sólidos suspendidos, fenoles (hasta 200 ppm), sulfatos (menos de 10 ppm) y amonio (menos de 100 ppm) (IPIECA, 2010).

5.3.2.1.3. Fondos de tanque

Los contaminantes de estas aguas provienen de los sedimentos y agua presentes en el crudo que son recogidos al momento de su extracción en los pozos. Cuando el crudo se almacena en los tanques, estos contaminantes se depositan en el fondo de los mismos y deben ser removidos periódicamente. En los tanques que contienen gasolinas, ocurre algo similar pero sólo con agua y en mucho menor cantidad.

Los contaminantes presentes en estas aguas son DQO (entre 400 y 1000 ppm), hidrocarburos (hasta 1000 ppm), sólidos suspendidos (hasta 500 ppm) y sulfatos (hasta 100 ppm) (IPIECA, 2010).

5.3.2.1.4. Soda cáustica usada

Estas aguas son generadas por la extracción de componentes ácidos de las corrientes de hidrocarburos. Los mismos se absorben en el reactivo generando soda cáustica usada que no puede ser regenerada y generado entonces aguas ácidas.

Dependiendo de la unidad, se generan distintos tipos de soda cáusticas: la sulfídica y la fenólica. La fenólica no puede ser tratada en la PTEL por ser muy olorosa. Esta última se genera en la unidad de craqueo catalítico, unidad de coqueo y en tratamiento del querosene aunque en esta refinería se utiliza el hidrotratamiento para tratar el querosene disminuyendo este tipo de aguas contaminadas. Por otro lado, la soda cáustica sulfídica se puede tratar en la PTEL pero de manera controlada para minimizar la generación de olores. En el caso de la refinería en cuestión, ambas sodas cáusticas son neutralizadas disminuyendo su pH y quitando el H₂S y separando los fenoles en una neutralización profunda, de esta manera pueden ser tratadas en la PTEL.

5.3.2.2. Aguas de enfriamiento

Las torres de enfriamiento se utilizan para poder “sacar” el calor que se introduce en el sistema al quemar combustible o introducir vapor principalmente en la unidad de *topping*. Muchos de los procesos de refinación utilizan agua de enfriamiento para el control de las condiciones de operación como intercambiadores de calor para enfriamiento de productos y refrigeración de cojinetes de bombas. No es la única técnica utilizada ya que también se utilizan intercambiadores de calor con las calderas para generar vapor o enfriadores de aire (Castro, NE).

En esta refinería, se utilizan las torres de enfriamiento evaporativas donde el calor se pierde por evaporación. El agua caliente se rocía en una corriente de aire atmosférico ascendente. El calor del agua se pierde calentando el aire y por evaporación. Este proceso se observa en el esquema a continuación.

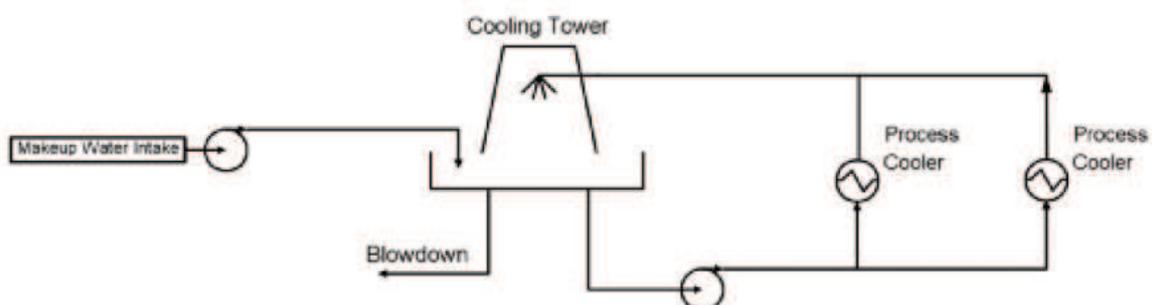


Figura 24: Torre de enfriamiento por un sistema de evaporación (IPIECA, 2010)

Este sistema es un circuito, que se inicia con el envío mediante bombas de alta capacidad, desde la piscina de succión en las torres de enfriamiento hacia las unidades de procesos en donde intercambia calor, y vuelve a una temperatura mayor. En el proceso de enfriamiento,

el agua es recirculada para disminuir el consumo de la misma pero parte del agua que circula en estas torres debe ser removida como purgas periódicas para prevenir que se acumulen sólidos disueltos en el sistema (Castro, NE).

Los contaminantes presentes en estas aguas son DQO (alrededor de 150 ppm), hidrocarburos (menos de 5 ppm), sólidos suspendidos (hasta 200 ppm) y sólidos disueltos (hasta 700 ppm) (IPIECA, 2010).

5.3.2.3. Purgas de condensado

Estas aguas hacen referencia a las pérdidas de condensado. Las mismas provienen de:

- purgas del sistema de calderas
- purgas de los generadores de vapor
- condensado no recuperado de trampas de vapor, rastreos de vapor...

Estas corrientes tienen disueltas cantidades variables de componentes cuya solubilidad es mayor en agua que en los hidrocarburos, tales como sulfuros, fenoles, compuestos amoniacales, ácidos, e hidrocarburos emulsionados (IAPG,2011).

5.3.2.4. Agua de lluvia

Como se mencionó anteriormente, el agua de lluvia que no pudo ser recolectada debe ser tratada previo a su descarga por estar potencialmente en contacto con hidrocarburos. Como son aguas de caudal muy variables, se acumulan en tanques y son descargadas en la PTEL de manera controlada. De esta manera, se evita el sobredimensionamiento de esta planta.

Parte del agua de lluvia que no cae en sectores de potencial contaminación, se acumula y se reutiliza para agua contra incendios, torres de enfriamiento o como agua de lavado como se mencionó anteriormente.

5.3.2.5. Agua cloacal

La misma puede ser enviada a la PTEL o tratarse de manera separada. Como en el caso particular de esta refinería, los microorganismos del tratamiento biológico son bacterias diseñadas específicamente para obtener una alta remoción de fenoles por los bioquímicos de la empresa contratante, y no son los consorcios que se suelen utilizar en muchas otras industrias, no es necesariamente beneficioso juntar el cloacal en el tratamiento biológico

con el caudal del efluente industrial post tratamiento primario. En este caso, juntar ambas corrientes generaría un sobredimensionamiento del tratamiento biológico y terciario, sobre todo al ser tantos los operarios de la planta y al trabajar las 24 hs al día. Además, aumenta la carga de DBO que es uno de los contaminantes a ser tratados. Puede ser positivo cuando la biodegradabilidad del afluente no es buena pero no es el caso de esta refinería por lo que no es necesario agregar parte del cloacal al tratamiento secundario. Por esta razón, el efluente cloacal, al igual que las aguas grises se envían a la red cloacal para luego ser tratadas por ABSA y no son tratadas en la PTEL.

5.3.3. Contaminantes a ser tratados en la PTEL de la refinería

Las aguas antes mencionadas, se mezclan antes de ser volcadas generando esos 280 m³/hora a ser tratados en la PTEL. Para poder diseñarla, es fundamental conocer las características exactas de estos efluentes industriales. Para obtenerlas, se debe analizar en el laboratorio los efluentes generados, este proceso se denomina “caracterización del efluente”. A partir de la caracterización de los efluentes industriales de la nueva refinería⁴, se obtuvieron los parámetros que se observan en la tabla a continuación.

Tabla 1: Parámetros de diseño previos a la entrada de la PTEL (Fuente: refinería reservada y Nacheva, 2011) una vez ya pretratadas en el stripper de aguas ácidas.

Parámetro	Unidad	Valores medidos
DQO	ppm	5.840
DBO ₅	ppm	1.650
Fenoles	ppm	39,2
Hidrocarburos	ppm	3.770
pH		7,22
Sulfuros	ppm	4,2
Sólidos suspendidos	mg/L	213
Fósforo total	ppm	0,8
Nitrógeno total	ppm	60
Nitrógeno amoniacal	ppm	37,7
Temperatura	°C	37

Se puede observar a partir de la tabla 1 que, en esta refinería no se observan metales en el efluente por lo que no será necesario colocar un tratamiento específico para los mismos.

⁴ Esta caracterización fue brindada por profesionales de la industria y complementada con bibliografía, no habiéndose ensayado toma de muestras en el sitio de estudio.

Otro dato importante antes de diseñar una PTEL es conocer los valores máximos de los parámetros permitidos por ley para saber a qué valores se debe llegar como mínimo con el tratamiento.

Estos efluentes serán volcados en el conducto pluvial que luego terminará volcándose en el Canal Este Santiago. Los valores máximos de contaminación en este caso son definidos por la resolución 336/2003 de la autoridad del agua (ADA). Estos valores están presentes en el anexo II de la resolución dentro de la columna “Cond. pluv. o Cuerpo de agua superficial”. El mismo se puede observar en la figura 98 del anexo de este proyecto. En la tabla 2, se resumen los valores máximos permisibles de los contaminantes presentes en el efluente a tratar que deberán ser tenidos en cuenta en el diseño de la PTEL. Se colocan también los valores medidos para este proyecto para así poder ver de manera más visual (en rojo los valores que no cumplen y en verde los que cumplen) los parámetros que deben ser disminuidos para evitar contaminar el conducto pluvial.

Tabla 2: Límites máximos permisibles para el vuelco en un cuerpo de agua superficial o conducto pluvial en La Plata y la comparativa con los valores medidos

Parámetro	Unidad	Límite permisible	Valores medidos
DQO	ppm	<250	5.840
DBO ₅	ppm	<50	1.650
Fenoles	ppm	<0,5	39,2
Hidrocarburos	ppm	<30	3.770
pH		6,5 a 10	7,22
Sulfuros	ppm	<1	4,2
Cloro libre	ppm	<0,5	ausente
Sólidos sedimentables 10 min	mg/L	ausente	ausente
Sólidos sedimentables 2 horas	mg/L	<1	213
Fósforo total	ppm	<1	0,8
Coliformes	NMP/100 mL	<2000	no detectado
Nitrógeno total	ppm	<35	60
Nitrógeno amoniacal	ppm	<25	37,7
Temperatura	°C	<45	37

A partir de la tabla 2, se puede observar que los únicos parámetros que cumplen con la normativa son el fósforo total, la temperatura, el pH y los sólidos sedimentables en 10 min. El cloro libre también cumple con la normativa ya que no figura en el afluente a la planta pero se coloca en la tabla ya que la ley plantea que los establecimientos que puedan afectar

a la salud, bienestar público o la calidad de una fuente de agua deben satisfacer la demanda de cloro previo a su descarga. Además que, la demanda de cloro también debe ser satisfecha en la descarga a conducto superficial. Es importante entonces tener en cuenta el valor de cloro libre que se permite en el efluente ya que la cloración para desinfección implica el agregado de cloro. De todas maneras, la cloración de aguas residuales raramente alcanza el nivel suficiente para producir cloro libre (Secretaría de economía del gobierno de México, 2001). Como en este caso no se observan coliformes, la concentración de cloro agregada será mínima y no producirá cloro libre. Para el dimensionamiento de la cámara de cloración, se obtuvo un valor de coliformes fecales de bibliografía de un estudio de una refinería en Perú realizado por Andres Paredes Silva en 2016. Este valor es de 4.900 NPM/100mL.

Cabe aclarar que, como se mencionó en la sección de aguas del desalador, el crudo procesado en esta refinería es particularmente salino influyendo en la salinidad del efluente por el agua que proviene del mismo y, por más de que no esté en la normativa, es un parámetro fundamental a tener en cuenta no sólo por la corrosión pero sino también por los criterios de diseño, sobre todo del tratamiento biológico. Más allá de que el crudo procesado sea salino, el desalador permite obtener efluentes con niveles de salinidad adecuados para el tratamiento luego propuesto.

5.4. Consumo energético de la refinería

Aún se están por concretar las necesidades finales de potencia eléctrica de la refinería. La misma se aproxima a 50 MW, mientras que la necesidad de vapor estimada es de 150 tm.

A los efectos de este proyecto, una vez diseñada la PTEL, se utilizará el resto del espacio disponible para colocar módulos fotovoltaicos. Se calculará la energía que ésta consumirá para entender si la energía generada por el parque solar es suficiente para su alimentación.

5.5. Espacio disponible para el proyecto

Dentro de la totalidad del espacio disponible para la construcción de la refinería, se decidió destinar **1 ha** para la PTEL y el parque solar asociado, es decir la totalidad del proyecto en cuestión. Las dimensiones del espacio disponible son de **100 metros** de largo por **100 metros** de ancho. De todas maneras, este espacio podría verse modificado en largo y

ancho en función del proyecto siempre y cuando se utilice 1 ha de superficie en total. El mismo se puede observar en la figura a continuación.

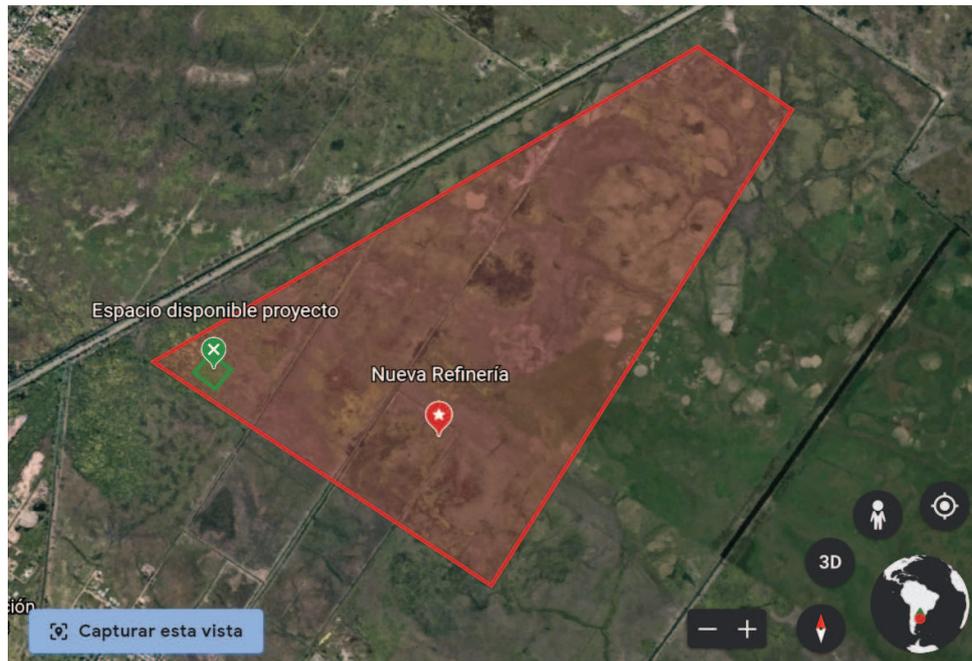


Figura 25: Espacio disponible para el proyecto (Fuente: Google Earth, Elaboración propia)

6. Memoria descriptiva y análisis de alternativas

En esta parte del proyecto, se describen las opciones posibles de tratamiento de los efluentes líquidos antes mencionados teniendo en cuenta los antecedentes de la industria. Luego, se analizará la mejor opción a ser implementada y se presentará el diagrama de flujo de la PTEL a ser construida.

El pretratamiento de estos efluentes no se describe en este sector ya que, a diferencia del pretratamiento en la mayoría de las PTEL que está compuesto por rejillas o tamices, en esta industria se puede considerar como unidad de pretratamiento a los tratamientos de gases ya explicados como el *stripper* de aguas ácidas. No es necesario ningún otro pretratamiento ya que los efluentes no poseen sólidos gruesos que podrían obstruir las unidades del tren de tratamiento.

6.1. Tratamiento primario

Este paso es muy importante ya que altas concentraciones de sólidos suspendidos y aceites⁵ son dañinos para el medioambiente y también para los tratamientos biológicos. El objetivo de este tratamiento es entonces separar los sólidos sedimentables y en suspensión del efluente además de las grasas.

Este tratamiento consiste en la separación de hidrocarburos, agua y sólidos, en dos etapas. En la primera, se utilizan separadores de agua-aceite basados en la diferencia existente entre las gravedades específicas del aceite y del agua (Ley de Stokes). Los mismos pueden ser separadores API o interceptores de placa. El agua se mueve de manera gradual a través del separador generando que los hidrocarburos floten (por ser inmiscibles en aguas y menos densos que ésta) y se separen como una capa superior. Por otro lado, los sólidos sedimentan al fondo y son barridos.

Los separadores agua-aceite, suelen complementarse con equipos que permiten separar las partículas en suspensión y así completar este tratamiento primario (André, 2014). Estos últimos usan métodos físicos o químicos para separar el hidrocarburo emulsionado. Los métodos físicos pueden incluir el pasaje por bateas coalescedoras con altos tiempos de retención o lograr la coalescencia mediante flotación por burbujas de aire (sistemas conocidos como DAF: *dissolved air flotation* o IAF: *induced air flotation*, por sus iniciales en inglés). En esta última, se producen microburbujas que son sopladas a través de la masa de agua residual, produciendo la flotación del hidrocarburo y sólidos suspendidos que son barridos de la superficie. En muchos casos se agregan ciertos productos químicos que ayudan a la coagulación de los sólidos suspendidos (IAPG, 2011).

La mayoría de los residuos provenientes del tratamiento primario son considerados peligrosos o especiales. Dentro de estos se incluyen: los barros de fondo del separador agua-aceite, otros barros del tratamiento primario, el sobrenadante de los sistemas de flotación y barros generados en las bateas o lagunas de decantación. Después del tratamiento primario, si la calidad del agua residual cumple con los parámetros de la

⁵ Como la bibliografía estudiada está en su mayoría en idioma inglés, y no hay diferenciación entre aceite y petróleo (hidrocarburos) al estar designada como “oil”, en esta sección del proyecto, cuando se habla de aceite se hace también referencia a los hidrocarburos.

legislación, puede ser descargada al curso o sumidero de naturaleza pública; en caso contrario, se envía a tratamiento secundario previo a su descarga (IAPG, 2011).

A la salida del tratamiento primario, el elemento debería contener menos de 20 ppm de aceites y grasas (insolubles) (Jafarinejad, 2017).

Las cadenas utilizadas en estos separadores deben ser de materiales especiales resistentes a la corrosión.

6.1.1. Tipos de separadores agua-aceite

6.1.1.1. Separadores API

Estos separadores permiten recuperar cantidades de crudo que pueden ser reprocesadas en la refinería. Utilizan una de las técnicas más sencillas que es la separación por gravedad.

Poseen dimensiones apropiadas para permitir que el flujo sea laminar. El mecanismo consiste en retener el efluente por el tiempo que permita a las gotas de aceite separarse, y alcanzar la superficie, desde donde son eliminadas y a los sólidos pesados decantar en el fondo.

El mismo consiste de una sección de pretratamiento donde el efluente es recolectado y permite la remoción de lodos. Una barrera de difusión permite que el efluente fluya lentamente hacia la salida mientras las fracciones de hidrocarburos livianos pueden ser removidas gracias a los *skimmers* o arrastradores. Para remover sólidos más pesados, se utilizan rascadores. Para prevenir que los hidrocarburos escapen, en la sección de salida, se utilizan placas deflectoras.

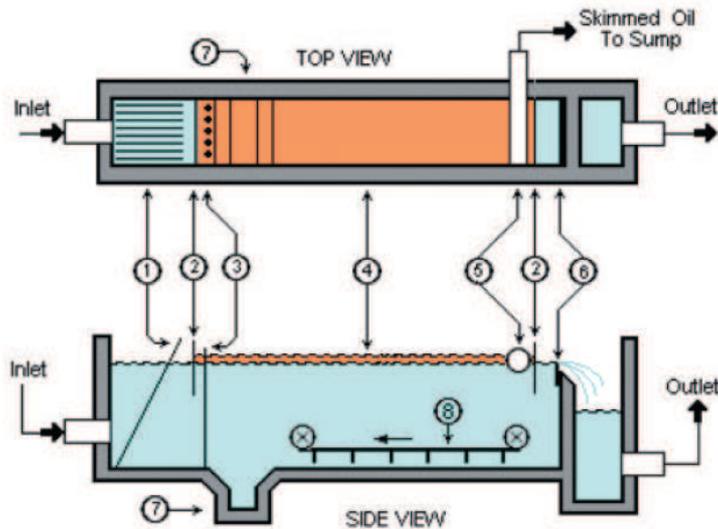


Figura 26: Separados API. 1:Trampa de basura; 2:Deflectores para retener los hidrocarburos; 3:Distribuidores de flujo; 4:Capa de HC; 5:Skimmers; 6:Vertedero de desbordamiento ajustable; 7:Sumidero de lodos; 8: Raspador de cadena (IPIECA, 2010)

Altos pH pueden estabilizar emulsiones y por esta razón la soda cáustica debe ser neutralizada previo a su ingreso.

La elección del tipo de separador por gravedad, depende principalmente de las características del agua residual a tratar, del volumen del agua, el tamaño de las gotas y del espacio disponible.

La eficiencia de remoción de aceites se encuentra entre 60-99% y entre 10 y 50% para los sólidos suspendidos. La misma depende de la temperatura del agua y de la densidad y tamaño de las gotas de aceite. La correlación de HC entre el influente y el efluente del separador se puede observar en la figura 28.

El separador API tiene la finalidad de remover sólidos suspendidos totales y grasas & aceites libres con un tamaño promedio de partícula de 150 micrones y mayores (Diaz Huerta, 2013).

6.1.1.2. Separadores de placa

Los separadores de placas en general se desarrollan con el fin de aumentar el rendimiento y la capacidad de un API (André, 2014).

6.1.1.2.1. Separadores de placas paralelas (PPI)

Este separador se caracteriza por la circulación de la corriente de agua residual que contiene las partículas de aceite, entre placas paralelas inclinadas, muy poco distanciadas entre sí, de tal modo que las gotas de aceite se aglomeren en las caras inferiores de las placas. Esto último permite que las mismas deslicen hasta alcanzar la superficie del agua, de tal manera que la distancia que debe recorrer una partícula antes de que se elimine es de tan sólo unos centímetros, en vez de varios metros, como en el caso del separador API (André, 2014).

6.1.1.2.2. Separadores de placas corrugadas (CPI)

Los separadores de placas corrugadas son una modificación de los separadores PPI aunque su funcionamiento es idéntico. La diferencia es que están constituidos por una serie de placas corrugadas dispuestas paralelamente y separadas entre sí por unos 2 a 4 cm y con una inclinación de 45°.

A raíz de esta diferencia, los separadores de placas corrugadas tienen una capacidad mayor que los separadores de placas paralelas de dimensiones análogas y ocupan una superficie 6 veces menor que la de un separador API. Poseen la ventaja adicional de que, para las velocidades utilizadas en los separadores convencionales, el régimen entre las placas es de tipo laminar, por lo tanto este régimen es ideal para la separación de aceite. Se recomienda que en cualquier diseño de un equipo de placas, deben tomarse en cuenta las especificaciones del fabricante de placas seleccionadas (André, 2014).

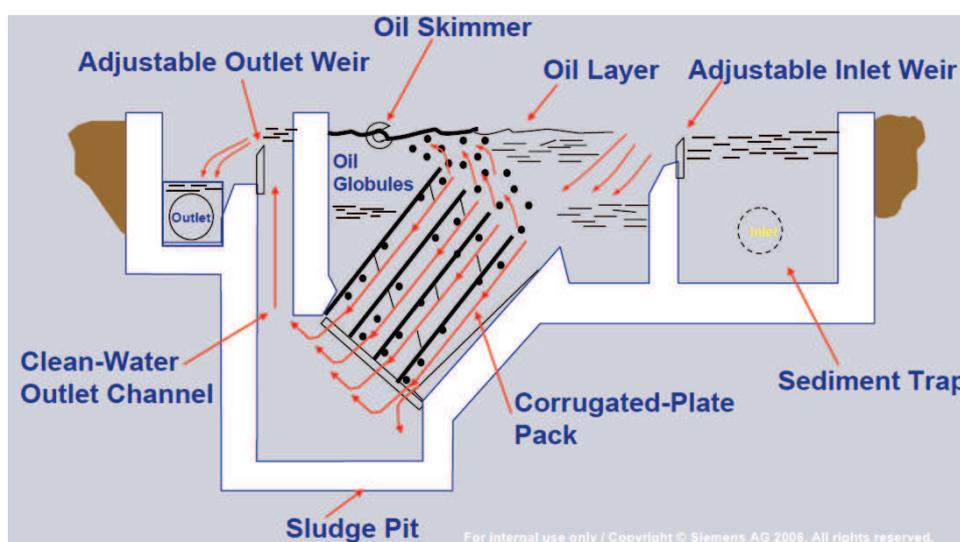


Figura 27: Separador de placas corrugadas (Siemens, 2006)

Tanto los separadores de CPI como los PPI poseen eficiencias de remoción similares a los API, a veces hasta mejores. Ejemplos de distintas remociones se pueden observar en la figura a continuación.

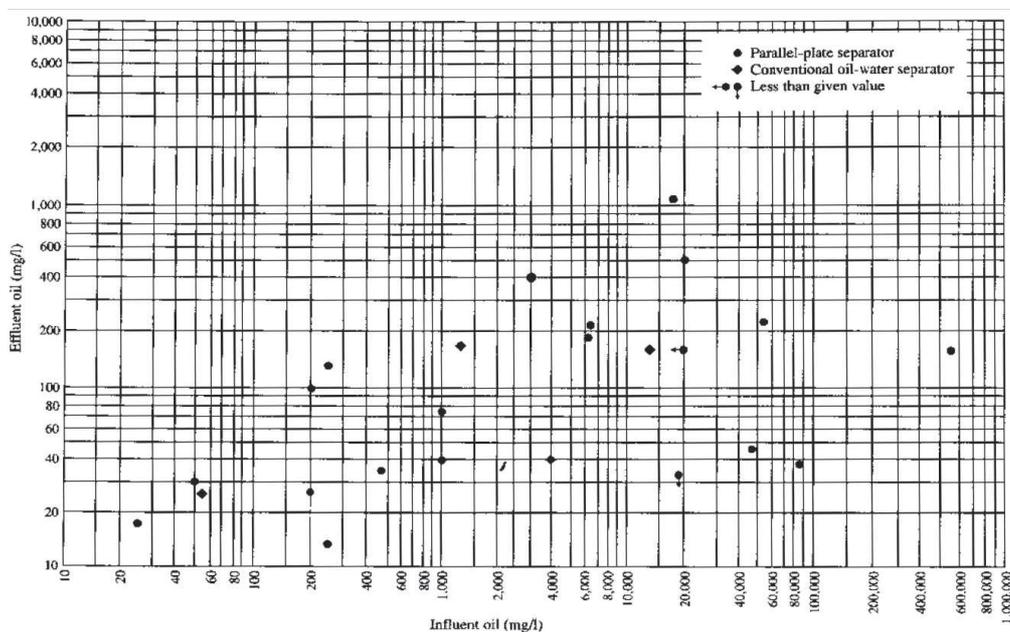


Figura 28: Correlación entre el influente y el efluente de hidrocarburos para distintos separadores agua-aceite (Eckenfelder, 2000)

6.1.1.3. Elección separadores

Como se mencionó anteriormente, los separadores de placas ocupan menos espacio que los separadores API y son eficientes como separadores de dos fases: agua-aceite. Además son más fáciles de tapar para evitar que se escapen compuestos orgánicos volátiles (VOC).

En esta refinería en particular, se decidió colocar un separador API ya que los separadores de PPI y CPI son menos efectivos en cuanto a la remoción de la fase sólida. Estos sólidos tienden a obstruir las placas resultando en muchos costos de mantenimiento. Los separadores API permiten entrada de HC de entre 300 y 10.000 ppm y entrada de sólidos suspendidos totales de 300 a 10.000 ppm mientras que los de CPI sólo admiten sólidos suspendidos totales de hasta 200 ppm según Schutlz, además de no tolerar correctamente variaciones en la carga y el flujo. Como las características del efluente a tratar poseen sólidos suspendidos de 213 ppm, se decidió colocar separadores API. Además, estos separadores toleran variaciones en el caudal y la carga. Estos separadores serán cubiertos para evitar las emisiones de VOCs a la atmósfera.

6.1.2. Tipos de flotación

Esta segunda etapa de tratamiento primario se emplea para la remoción de los sólidos suspendidos, coloidales, aceites y grasas. También sirve para la concentración y remoción de lodos. Los sistemas de flotación pueden ser con o sin recirculación.

6.1.2.1. Flotación por vacío

Este proceso consiste en la saturación a presión atmosférica del agua residual a tratar en un tanque de aireación, o bien por inyección de aire en la línea de bombeo y posterior aplicación de vacío. En estas condiciones de vacío, la solubilidad del aire en el agua disminuye, produciéndose gran cantidad de burbujas en la masa del líquido que produce el arrastre de los sólidos en suspensión, grasas y aceites a la superficie, de donde son eliminados en forma continua (André, 2014).

La unidad de vacío consiste en un tanque cilíndrico y cerrado en el cual se mantiene una presión de 20-25 mm de mercurio (Hg), disponiendo de un conjunto de rasquetas para eliminar en forma continua los sólidos y espumas formadas, así como de una purga de fondo para la eliminación de sólidos que pudiesen haber decantado (André, 2014).

El proceso de flotación por vacío no se emplea generalmente, entre otras razones, debido a los problemas mecánicos de los equipos de vacío (André, 2014).

6.1.2.2. Flotación por Disolución (DAF)

El sistema DAF es un proceso de separación física utilizado para eliminar contaminantes del agua. El proceso consiste en la saturación del agua con aire a presión (también se puede usar nitrógeno). Al liberar la presión, el aire disuelto forma pequeñas burbujas que arrastran las partículas suspendidas en el líquido y ascienden hasta la superficie (Díaz Huerta, 2013). Esto último se logra gracias a una corriente de bombeo de entre 40 y 55 psig de aire comprimido. Para que el aire se disuelva se lo retiene en un tanque y éste fluye por una válvula reductora de presión que la lleva a presión atmosférica y luego es enviado al tanque de flotación.

El objetivo principal del sistema DAF es reducir la carga de la demanda química de oxígeno (DQO) para la eliminación de grandes contaminantes de DQO que incluyen grasas, aceites, materia orgánica y sólidos coloidales. Se puede lograr una reducción hasta del 90% de

DQO y sólidos suspendidos. El sistema utiliza un polímero aniónico, producto químico, que puede mejorar su rendimiento (Diaz Huerta, 2013).

Según Eckenfelder, en las aguas residuales de refinería, luego de pasar por un separador API, se obtiene entre un 70 y 90% de remoción extra en la unidad de DAF de aceites y sólidos suspendidos. En el caso de agregar coagulantes, esta remoción se acerca a los mayores valores. Según la EPA, se elimina también entre un 20-70% del DBO. Schultz, menciona que el DAF combinado con coagulación-floculación puede remover hasta 95% de los HC y sólidos suspendidos.

En este tipo de sistemas, para mejorar la eficiencia, parte del efluente es recirculado, presurizado y saturado con aire y luego mezclado con el nuevo influente. Algunos sólidos terminan en el fondo de la unidad de DAF que son removidos periódicamente (IPIECA, 2010).

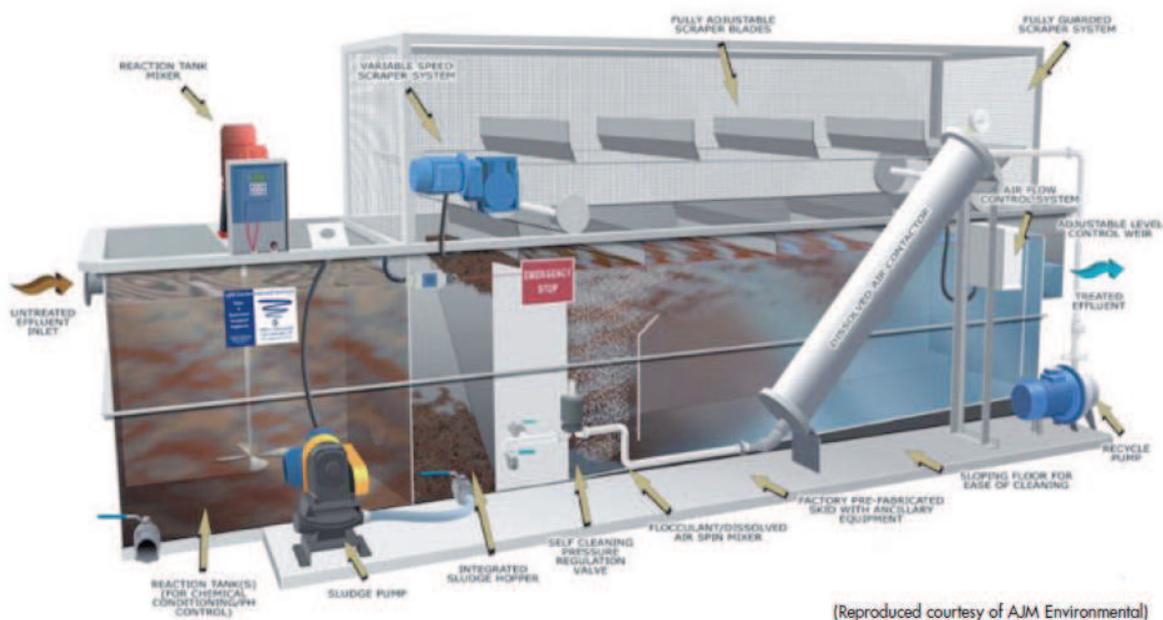


Figura 29: Unidad DAF (IPIECA, 2010)

Para asistir a la remoción de partículas coloidales puede ser necesario la coagulación química y la floculación. Los procesos químicos rompen las emulsiones (los coagulantes) y promueven el agregado de los sólidos suspendidos para que sean lo suficientemente grandes para asentarse y ser removidos (los floculantes) (IPIECA, 2010). En la industria petrolera, se utilizan muchas veces unidades DAF prefabricadas ya preparadas para la

adición del coagulante y la remoción de los hidrocarburos, grasas y aceites que flotan a la superficie además de tapas para evitar el escape de posibles emisiones de COVs.⁶

Por esta razón, para asegurar la máxima efectividad en este tipo de sistemas, se adiciona un coagulante (como FeSO_4 o FeCl_3) para romper las emulsiones y un floculante (como por ejemplo un polielectrolito) para transformar pequeñas partículas de sólidos e HC en partículas más grandes ya que son más fáciles de flotar (Jafarinejad, 2017). Según Eckenfelder, en la industria petrolera se utilizan alumbres para coagular entre 100 y 300 ppm y los polielectrolitos pueden ser agregados ocasionalmente con concentraciones entre 1 y 5 ppm. Estos químicos en la industria petrolera, muchas veces se adicionan directamente en la unidad DAF.

Esta unidad tiene la finalidad de separar sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y grasas & aceites disueltos y emulsionados con un tamaño promedio de partícula de 30 micrones a 150 micrones que no se pudieron remover el separador API.

6.1.2.3. Flotación por aire inducido (IAF)

El sistema por aire inducido opera con los mismos principios que la unidad DAF (Eckenfelder, 2000). La diferencia radica en que el aire se introduce mediante turbinas o bien inyectores, presentándose en unidades compactas. El sistema de aspiración y dispersión se basa en la función de un rotor y de un estator, que al girar producen la mezcla íntima del aire con la pulpa objeto de la flotación (André, 2014).

El rotor genera una presión negativa empujando el gas al líquido. Este último se mueve a través de cuatro celdas antes de salir del tanque. Este sistema posee menor inversión de capital y ocupa menos espacio (Eckendelfer, 2000).

⁶ Este tipo de sistema es el que se utilizará en este proyecto.

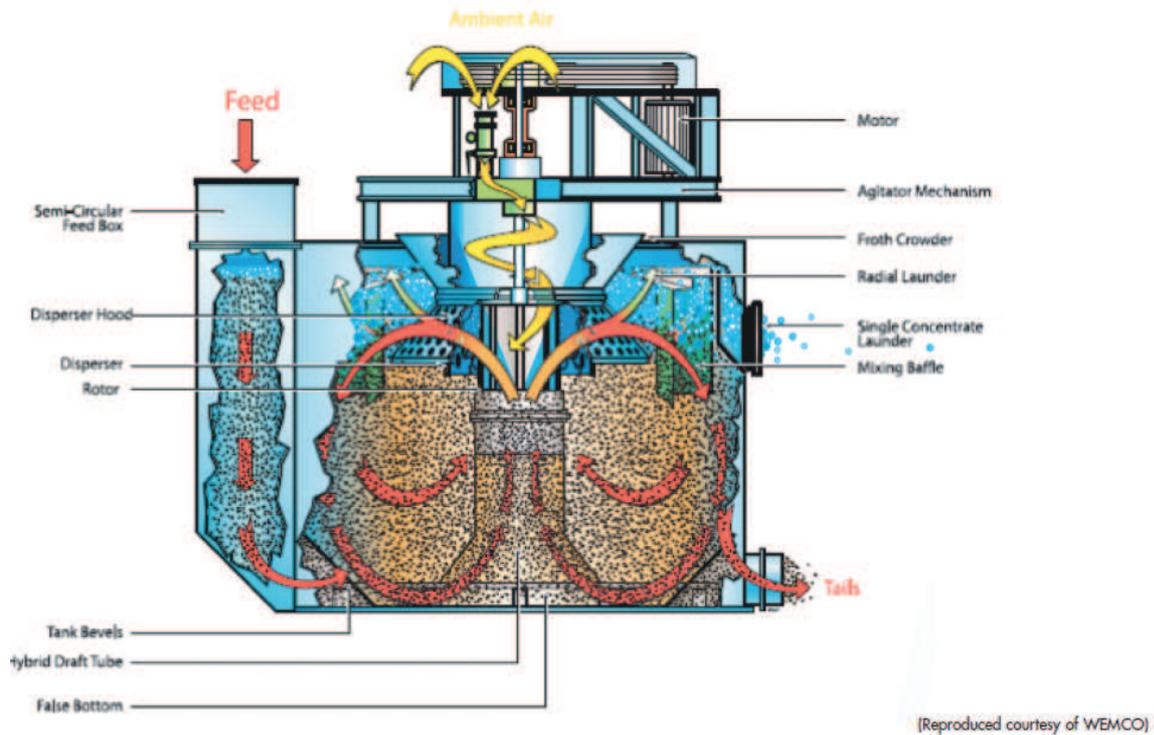


Figura 30: Unidad de IAF (IPIECA, 2010)

Las desventajas de este sistema son que no posee buena tolerancia a los cambios de carga, posee una mayor producción de lodos (de entre 2 a 10% mientras que el DAF de 0,1 a 0,5% del flujo entrante), posee menor remoción de aceites emulsionados y posee una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos limitados.

Además, el DAF posee un acondicionamiento químico integral que mejora la remoción de aceites emulsionados y soporta variaciones de caudal y carga. Por estas razones, se colocará una unidad DAF con coagulación/floculación.

6.1.3. Sistema de ecualización

El objetivo principal del sistema de ecualización es el de reducir las fluctuaciones causadas por variaciones en la carga o en el caudal. Sobre todo porque el tratamiento secundario no tolera cambios bruscos ni en el caudal ni en la carga. Por esta razón, es necesario ecualizar el sistema previo a la entrada en este tratamiento. En el caso de las refinerías, las variaciones de caudal no son muy grandes ya que es una industria que trabaja las 24 horas al día todos los días del año. La producción suele presentar variaciones en 3 tandas diarias de producción. El objetivo del homogenizador en estas industrias se centra más que nada en evitar las fluctuaciones de carga al poder ocurrir dependiendo de la calidad del crudo

procesado. No sólo se protege al sistema de las fluctuaciones en el caudal y la carga, pero también se evita el sobredimensionamiento de las unidades posteriores al ser calculadas con un caudal medio y no con el máximo.

Sus funciones son entonces:

- Proveer un buffer adecuado para las fluctuaciones orgánicas, para prevenir “shocks” de carga en el sistema biológico.
- Proveer alimentación continua al sistema biológico en períodos de baja producción o en paradas de planta.
- Prevenir el ingreso puntual de cargas tóxicas (Procesos industriales, 2018)
- Evitar el sobredimensionamiento de equipos

Este sistema se puede colocar antes del separador API, antes de la unidad DAF o después de esta última, es decir, justo antes del tratamiento secundario.

Como en este caso, el cloacal no es tratado en la PTEL, se decidió colocar el ecualizador al inicio del tren de tratamiento. Sobre todo para evitar el sobredimensionamiento del API y del DAF al ser vital utilizar el menor espacio posible. Cabe destacar que en esta localización, al recibir los aceites y sólidos de las aguas a tratar, IPIECA recomienda realizar una limpieza periódica de esta unidad (una o dos veces al año) para evitar la acumulación de los mismos.

En esta etapa, también se colocará un medidor de pH y, en el caso que el mismo sea ácido, se le inyectará soda cáustica para volver a un pH lo más neutro posible. En el caso de que el pH sea alto se le agregará ácido fosfórico y de esta manera también se soluciona el posible faltante de fósforo en el tratamiento biológico.

6.2. Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario, los hidrocarburos y otros compuestos orgánicos contaminantes son consumidos biológicamente por microorganismos. Este tratamiento puede ser aeróbico o anaeróbico pero, por poseer mayor remoción de DQO y sobre todo de nutrientes, en esta industria se suelen utilizar tratamientos aeróbicos o mixtos en el caso que se posean altas concentraciones de nitrógeno.

El tratamiento aeróbico requiere un contacto íntimo con oxígeno, el cual es introducido al sistema mediante diferentes técnicas, incluyendo los barros activados, biocontactores

rotativos, filtros de escurrimiento, etc. El tratamiento secundario genera barros de biomasa que son tratados en forma anaeróbica, secados y enviados a disposición final, acorde con su composición (IAPG, 2011). Se logra coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables estabilizando la materia orgánica soluble. Removiendo también nutrientes (N y P) y contaminantes específicos reduciendo la toxicidad.

Cuando los requerimientos de eliminación de nitrógeno son muy exigentes, se puede utilizar un tratamiento biológico mixto compuesto por un tanque anaerobio y otro aeróbico (nitrificación/desnitrificación). En este caso, ésto no es necesario ya que el *stripper* de aguas ácidas elimina la mayor parte de este contaminante pudiéndose llegar a los valores permitidos por la normativa con un tratamiento convencional. Por esta razón, no se colocará un tratamiento biológico compuesto.

Existen dos grandes categorías dentro de los tratamientos aeróbicos:

- Biomasa en estado libre o en suspensión, en los cuales los microorganismos responsables del proceso se encuentran en mezcla íntima con el agua residual a tratar.
- Biomasa en lecho fijo. En los cuales los microorganismos se encuentran fijados sobre un soporte físico, pasando el agua a través del mismo.

Dentro de este grupo hay una serie de variantes como:

- Soporte fijo, como es el caso de los filtros percoladores.
- Soporte móvil, biodiscos, biotambores, etc.
- Lechos fluidificados, en los que la biomasa se encuentra fijada sobre un soporte formado por partículas sólidas, que se mantiene en suspensión por la velocidad ascensional del agua en el tanque (Sainz Sastre, 2007).

A continuación, se desarrollan las tecnologías más utilizadas de estos tipos de tratamiento dentro de la industria petrolera pero antes se analizará la biodegradabilidad del efluente para saber si es posible tratarlo con un tratamiento secundario.

6.2.1. Biodegradabilidad del efluente a tratar

Para saber si el efluente es biodegradable se debe conocer la relación entre la DBO y la DQO. Como la DQO oxida toda la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos, mientras que la DBO sólo lo biodegradable, la relación entre ambos parámetros será siempre menor que la unidad.

$$\frac{DBO}{DQO} \leq 1$$

Esta relación es un buen indicador de la biodegradabilidad de un agua residual, de tal forma que los valores inferiores a 0,2 se consideran que no se pueden utilizar procesos de tratamiento por vía biológica (Sainz Sastre, 2007).

En este caso la DQO es de 5.840 ppm mientras que la DBO es de 1.650 ppm . La relación DBO/DQO es entonces de 0,28. Esto último quiere decir que el tratamiento secundario biológico puede ser implementado para las aguas de esta refinería ya que son lo suficientemente biodegradables. Cabe destacar que la DQO puede ser generada por algunos compuestos inorgánicos como sulfuros o nitritos.

6.2.2. Biomasa fija o adherida

En los cultivos fijos, los microorganismos están adheridos a un material inerte. Este material puede ser rocas, plástico u otros materiales sintéticos. Se describirán dos posibles unidades de biomasa fija que podrían utilizarse previo al sistema de biomasa suspendida para reducir la carga orgánica del efluente.

6.2.2.1. Lecho percolador

En este sistema, la biomasa está adherida a un determinado medio soporte (roca, plástico o materiales sintéticos) por lo que en principio no requiere reciclado de lodos aunque ciertos esquemas operativos de todos modos lo incluyen. El modo de distribuir el efluente es de manera continua.

El oxígeno para la degradación de la materia orgánica, es provisto por un sistema natural o con ventilación de bajo costo. Dados los muy bajos tiempos de residencia del líquido en el sistema (5-15 min) la materia orgánica debe ser rápidamente absorbida por el biofilm (compuesto por microorganismos adheridos al material) mediante el contacto superficial entre el efluente y ella. Por esta razón, son altamente eficientes para degradar materia orgánica fácilmente biodegradable.

La base del funcionamiento eficiente es una adecuada distribución de efluente sobre el biofilm y una rápida transferencia de oxígeno entre el aire y la corriente líquida y de ésta al biofilm (Diseño de tratamiento de efluentes, 2020).

Este biofilm se desprende una vez llega a cierto espesor. Luego de este tratamiento, es entonces necesario colocar un clarificador para separar la biomasa desprendida.

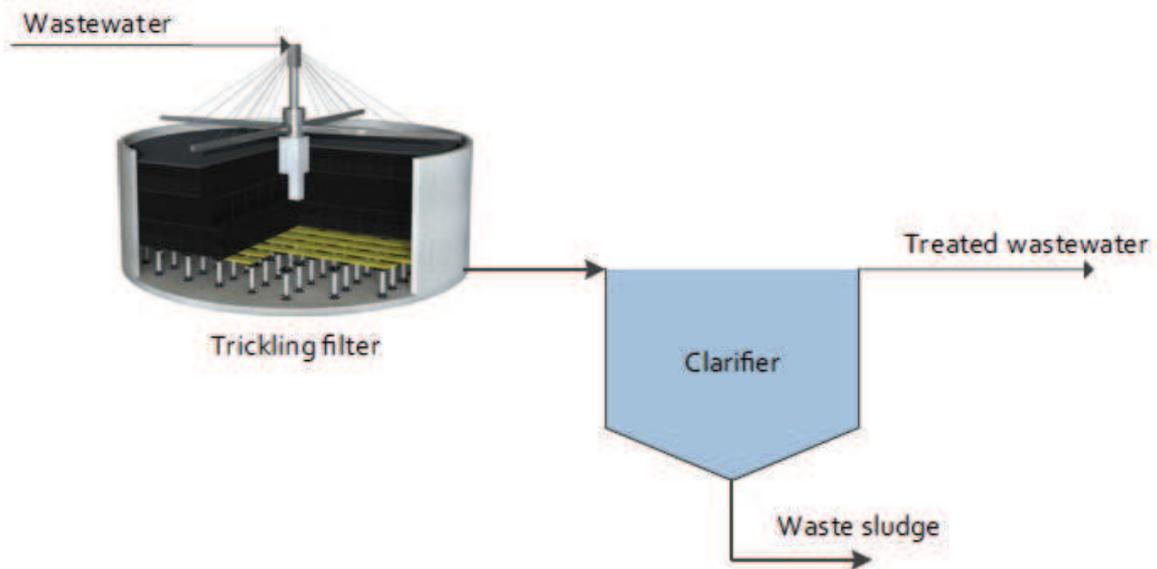


Figura 31: Esquema de un lecho percolador (trickling filter) y su clarificador (clarifier) asociado (Jafarinejad, 2017)

6.2.2.2. Rotating Biological contactors (RBC)

Son biodiscos de plástico organizados de manera horizontal. Suelen ser de poliestireno o polivinilo y se sumergen en el efluente. Los mismos rotan gracias a un motor de aire y los microorganismos se adhieren a la superficie. El oxígeno es recibido gracias a la exposición de los microorganismos al aire por lo que no es necesario un sistema de aireación. Después de esta unidad también es necesario colocar un clarificador.

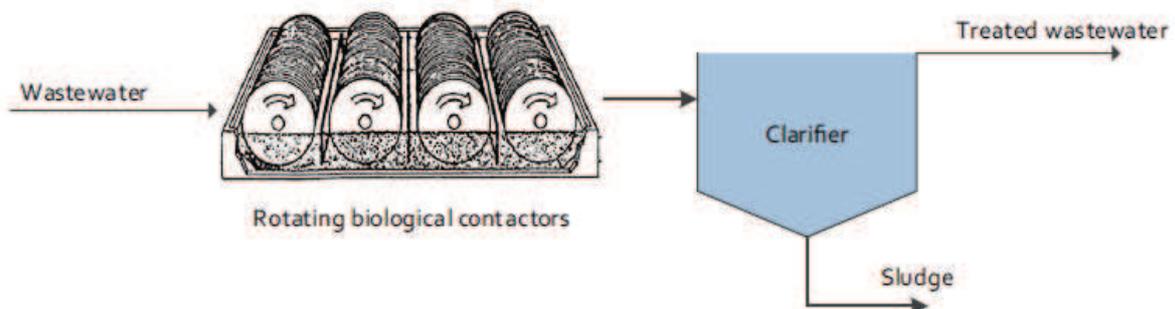


Figura 32: Unidad de RBC con su clarificador asociado (Jafarinejad, 2017)

Se decidió no colocar en esta PTEL ninguno de los tratamientos de biomasa fija ya que en la industria del petróleo no son muy utilizados al ser sus eficiencias de remoción de DBO y DQO menores a la biomasa suspendida y estos efluentes poseen altos niveles de estos contaminantes.

Se utilizan más que nada como equipos auxiliares ya que altas eficiencias de remoción se obtienen con cargas bajas y, a esas cargas, el costo de este tipo de tratamiento es caro en comparación con otros procesos (Jafarinejad, 2017).

Los biodiscos en particular no son utilizados en la industria petrolera ya que hubo muchos problemas con su implementación, más que nada a raíz del no conocimiento y el mal diseño.

Con respecto al lecho percolador en particular, según Jafarinejad, este tipo de tratamiento se utiliza sólo cuando el requerimiento del efluente no es de tan alta calidad y puede ser sometido sólo a este tipo de tratamiento, pero no es el caso de la normativa que se aplica a la cuenca Santiago (Jafarinejad, 2017).

En este caso, no se utilizarán estas instalaciones auxiliares y se colocará sólo tratamiento de biomasa suspendida. La razón principal es que habría que capacitar al personal en dos tipos de tratamientos que requieren de distintos conocimientos.

6.2.3. Biomasa suspendida

En este tratamiento, los microorganismos se encuentran mezclados con los orgánicos en el líquido y mantenidos en suspensión por medio de agitación. Los mismos se agrupan formando flóculos de biomasa activa que realizan la degradación de los contaminantes.

El sistema más implementado a lo largo de las refinerías del mundo es el de lodos activos pero también es muy utilizado, sobre todo en las refinerías más antiguas, el sistema de lagunas aireadas. A continuación, se hablará de ambos sistemas y luego se tratará en detalle qué sistema implementar en este caso ya que ambos sistemas son buenas opciones y ya se decidió utilizar biomasa suspendida.

Una opción muy utilizada para el tratamiento secundario de las aguas residuales es el de lagunas de estabilización o lagunaje pero en este proyecto se descartó esta posibilidad ya que se necesita de mucho espacio y como se necesita del mismo para el sistema fotovoltaico es de gran necesidad aprovechar eficientemente la mayor cantidad de tierra.

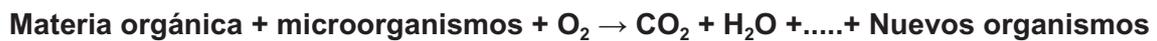
Sobre todo teniendo en cuenta que, el Gran La Plata está dentro de la zona A de la pampa húmeda, siendo el valor de tierra más caro de todo el país. En la localización particular de la refinería, el valor por hectárea ronda los USD 10.000 (AgrofyNews, 2016).

Cabe mencionar que, en el caso de la industria petrolera, es común utilizar microorganismos diseñados por laboratorio que permiten también reducir contaminantes particulares como por ejemplo fenoles e HC. En esta refinería, como se mencionó anteriormente, se utilizan bacterias diseñadas para degradar específicamente al fenol.

6.2.3.1. Lodos activos

Este sistema biológico es el más eficiente de los sistemas disponibles en la actualidad (IPIECA, 2010). El efluente es introducido en un tanque aireado con microorganismos que se denominan lodo activo, licor de mezcla o licor mixto. La materia orgánica del efluente es la fuente de carbono y energía de los microorganismos.

La reacción bioquímica que tiene lugar es la siguiente:



Para airear este sistema, se pueden colocar mecanismos de aireación superficial o difusores sumergidos. Luego de un contacto entre el efluente y los microorganismos, el efluente es separado de la biomasa por medio de un clarificador también llamado sedimentador secundario. Para mantener la biomasa deseada en el tanque de aireación, el lodo es recirculado mientras que el exceso de biomasa es removido periódicamente en las denominadas purgas para tener una buena eficiencia de sedimentación y evitar el envejecimiento de los lodos.

La biomasa del licor mixto se denomina sólidos en suspensión del licor mixto (MLSS de sus siglas en inglés). La porción orgánica de esta biomasa se la suele llamar sólidos suspendidos volátiles del licor mixto (MLVSS por sus siglas en inglés). En una típica PTEL de refinería, los MLSS están compuestos por entre 70-90% de MLVSS activo y un 10-30% de sólidos inertes (IPIECA, 2010).

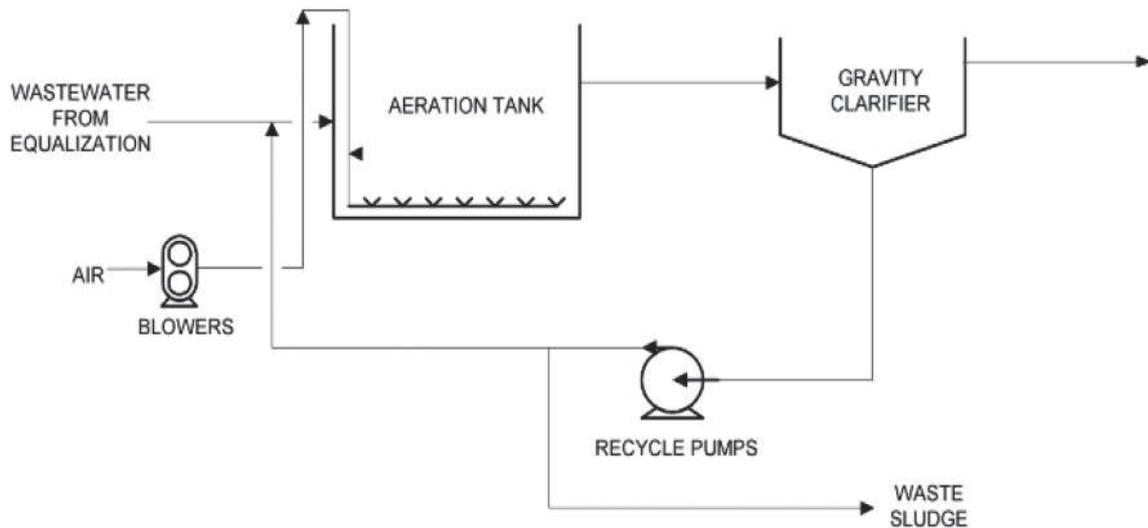


Figura 33: Esquema de una unidad de lodos activos con su clarificador asociado (IPIECA, 2010)

En algunas refinerías de petróleo, se agrega a esta etapa un tratamiento con carbón activado denominado *Power activated carbon treatment* (PACT®). Se le agrega carbón activado al tanque de aireación y el tratamiento biológico y la absorción de contaminantes ocurren de manera simultánea. La mayor parte del carbón es reciclado con el lodo activo pero el sistema requiere de una inyección continua de carbón fresco. Este sistema se utiliza cuando se deben cumplir normativas muy exigentes de ciertos contaminantes. Disminuye la concentración de DBO, HC y fenoles.

En el caso de esta refinería no es necesario ya que con el tratamiento tradicional sería suficiente. Según la EPA, las eficiencias de remoción del proceso de lodos activados es de un 80-90% para la DBO, 50-90% en la DQO, 60-85% de sólidos suspendidos, 80-90% para los HC, 95-99+% para los fenoles, un 33-99% de amoníaco y un 97-100% de sulfuros. La mayor remoción de los sólidos suspendidos ocurre en el sedimentador secundario, el mismo posee un porcentaje de remoción de sólidos suspendidos de más de 97%.

Es fundamental en este tratamiento que los nutrientes sean suficientes para mantener el crecimiento saludable de los microorganismos. La relación es de 100 (DBO):5 (N):1 (P), siendo N nitrógeno y P fósforo, como mínimo. Por lo general, y en el caso de esta refinería también, el efluente contiene suficiente nitrógeno pero puede ser deficiente en fósforo. Por esta razón, estos nutrientes deben ser medidos en el tanque de aireación y ser agregados

de ser necesario. En este caso, el fósforo se adiciona con ácido fosfórico si el pH es alto y, si el mismo se encuentra más ácido de lo deseado, se le adicionará soda cáustica.

6.2.3.2. Laguna aireada mecánicamente

Este tipo de tratamiento es similar en concepto a las lagunas de estabilización pero no ocupan tanto espacio como las mismas ya que no necesitan de todo un tren de tratamiento y al estar aireadas de manera mecánica poseen una mayor profundidad, disminuyendo su superficie. Además de poseer una mayor concentración de microorganismos. El proceso de aireación natural es reforzado gracias a aireadores mecánicos o unidades de aireación difusoras para promover el tratamiento biológico. La aireación mecánica mejora la eficiencia del tratamiento y reduce el tiempo de retención hidráulica (TRH) necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica.

Según Bush, el tiempo de retención de este tipo de lagunas es de entre 3 y 10 días por lo general. Las eficiencias para este tipo de tratamiento es de 75-95% para la DBO, 60-85% para la DQO, 40-65% para los sólidos suspendidos, 70-90% para los HC, 90-99% del fenol y 95-100% para los sulfuros (Bush, 1980).

Una laguna aireada es entonces un hueco en la tierra que posee una profundidad significativa, por ejemplo, entre 2,4 y 4,9 m, en la cual la oxigenación se realiza por unidades de aireación mecánica o difusión inducida por aireación superficial (Eckenfelder, 2000). Estas lagunas se utilizan tanto para la aireación como, en algunos casos, para la sedimentación.

Existen dos tipos de lagunas aireadas:

- Lagunas aireadas donde el oxígeno disuelto y sólidos suspendidos se mantienen de manera uniforme a lo largo de la misma (laguna aireada de mezcla completa)
- Laguna facultativa o aeróbica-anaeróbica, donde el oxígeno se mantiene en las capas superiores y sólo una porción de los sólidos suspendidos se mantiene en suspensión.

En la laguna facultativa, una porción de los sólidos suspendidos decanta al fondo donde ocurre su descomposición anaeróbica. Los subproductos anaeróbicos son oxidados en las capas aeróbicas superiores. Estas lagunas pueden ser modificadas para obtener un efluente aún más clarificado incluyendo un compartimiento dentro de la misma separado por baffles donde no se oxigena para que ocurra la sedimentación (laguna de mezcla parcial) o

colocando luego una laguna de sedimentación. En las lagunas de mezcla parcial y de sedimentación el lodo debe ser removido de manera periódica.

La diferencia principal entre las lagunas aireadas y facultativas es la potencia empleada para la aireación. En las lagunas aireadas esta potencia ronda los 2,8 a 3,9 W por m³ y es suficiente para mantener a todos los sólidos en suspensión. Por otro lado, en las lagunas facultativas la potencia utilizada es de alrededor de 0,79 W/m³ y es suficiente para mantener la dispersión y mezcla del oxígeno disuelto, pero no de los sólidos suspendidos. Estos valores de potencia hacen referencia a aireadores mecánicos superficiales (Eckenfelder, 2000).

El nivel energético requerido para la mezcla está en función del tamaño de la laguna, geometría y concentración de sólidos suspendidos. La concentración de sólidos suspendidos en las lagunas aireadas varía entre 200-300 mg/l, para esto se requiere un nivel energético aproximado de 6 W/m³. Cuando el nivel energético aumenta, hay un incremento lineal en la concentración de sólidos suspendidos. Por lo tanto si la carga orgánica se incrementa pueden requerirse más aireadores, aunque el espacio mínimo requerido para evitar interferencia entre aireadores de 75 kW es de 20 m (Hammer, 1975).

Las lagunas aireadas poseen profundidades de entre 2 y 6 m (IPIECA, 2010) y son seguidas generalmente por una laguna facultativa donde los sólidos suspendidos que no decantan en la laguna de mezcla completa o aireada mecánicamente sí decantan y se descomponen anaeróbicamente (Jafarnejad, 2017).

Este proceso se emplea en el tratamiento de desechos industriales, sin embargo su costo energético es alto (Hammer, 1975). Es decir que, este tipo de tratamiento ocupa menos espacio que las lagunas de estabilización pero aún así sigue siendo importante la ocupación del mismo además de consumir mucha energía. Por esta razón, a la hora de tomar una decisión es fundamental tener en cuenta el valor de la tierra y el consumo energético. Por otro lado, las eficiencias de remoción son menores que los lodos activos por lo que también se debe tener en consideración.

6.2.3.3. Biorreactores de membrana (MBR)

El término MBR aplica a todos los tratamientos de agua o de efluentes que integran una membrana permeable selectiva con un proceso biológico. La membrana actúa como un filtro proveyendo no sólo un alfuente descontaminado sino también desinfectado. Logra agua de

alta calidad apta para su reuso aportando a la disminución de consumo de la misma. Esta tecnología es moderna, implementándose sobre todo a nivel global a partir de los 2000, y cada vez se utiliza más y más dado a sus numerosas ventajas (Judd, 2011).

Este proceso combina entonces un proceso de membrana como, por ejemplo microfiltración⁷, con un biorreactor de biomasa suspendida. De esta manera, se elimina la necesidad de colocar un clarificador como sucede con los lodos activos (IPIECA, 2010). El poro de las membranas es típicamente de entre 0,01 y 0,45 μm (Jafarinejad, 2017).

Se distinguen dos configuraciones posibles:

- SMBR (*submerged membrane bioreactor* por sus siglas en inglés): donde el módulo de la membrana se encuentra sumergido en el biorreactor y el efluente es succionado directamente por filtración sin salida.
- CFMBR (*cross-flow membrane bioreactor* por sus siglas en inglés): donde el módulo de membrana se coloca afuera del tanque de aireación. El licor de mezcla se bombea a la membrana. En este tipo de configuración se suelen usar membranas tubulares (Jafarinejad, 2017).

Este sistema normalmente opera con altas concentraciones de biomasa (entre 15.000 y 20.000 mg/L de MLSS) (IPIECA, 2010). Las ventajas de este sistema es que generan agua de alta calidad, ocupan menos espacio que los lodos activos y poseen menos generación de lodos. Además permite obtener un efluente desinfectado y agua apta para reuso. Sus principales desventajas es que poseen problemas de taponamiento (*fouling*) que aumentan los costos en comparación con un sistema de lodos activos (Jafarinejad, 2017). Además, poseen un mayor costo energético en comparación con los lodos activos y la necesidad de verificar el taponamiento de las membranas, no teniendo muy claro la vida útil de las mismas, impacta también en mayores costos de OPEX (Metcalf & Eddy, 2003).

En las principales bibliografías consultadas, que hablan específicamente sobre el tratamiento de efluentes de la industria petrolera y de las refinerías: IPIECA y Jafarinejad, se menciona que este tipo de sistemas no suele utilizar en las refinerías por su alto costo comparado con el sistema de lodos activos. Sí se suelen usar en refinerías donde se debe colocar un sistema de filtración como tratamiento terciario ya que los costos se equiparan.

⁷ Las distintas tecnologías de membrana se describen en el apartado 6.3.3. Tecnologías de separación por membranas impulsadas por presión

Como en el caso de este efluente, no se colocará un sistema de filtración terciario se decidió descartar esta opción.⁸

6.2.4. Análisis de alternativas de tratamiento secundario

Como fue mencionando a lo largo de la sección 6.2, se decidió colocar un tratamiento secundario de biomasa suspendida que puede ser lodos activos o lagunas aireadas. Para poder definir cuál de los dos es el más adecuado se analizarán sus ventajas y desventajas en este punto del proyecto.

Los trenes de tratamiento contribuyen de manera significativa al costo total de capital del proyecto de la refinería. Por esta razón, para su elección también se debe tener en cuenta la perspectiva económica. Como el costo involucra tierra y personal, las necesidades futuras también deben ser consideradas previo a la inversión. Otro punto importante a tener en cuenta es el consumo energético ya que, como se mencionó anteriormente, esta nueva refinería desea ser pionera en sustentabilidad y eficiencia energética. Lo más importante es cumplir la normativa de vuelco pero lo ideal es realizarlo con el menor gasto de energía posible.

Como parte de este proyecto consta en el diseño de un parque solar para alimentar el consumo energético de la PTEL, el espacio que se le dedicará a la misma es limitado, la ocupación del terreno es un factor clave a tener en cuenta. Como se mencionó anteriormente, el espacio disponible para este proyecto es de 1 ha.

Para tomar una decisión se analizarán las siguientes variables:

- Ocupación del terreno
- Eficiencia de tratamiento
- CAPEX⁹
- OPEX
- Consumo energético

⁸ Cabe aclarar que, dentro de las recomendaciones del proyecto, se decide analizar en mayor profundidad esta opción ya que, más allá de que puede ser más costosa, permite usar menos espacio y no colocar el sistema de cloración evitando la formación de DBPS. Por esta razón, se recomendaría como mejora del proyecto adicionar la tecnología MBR al análisis de alternativas de tratamiento secundario.

⁹ Para lo que es CAPEX y OPEX se tendrán en cuenta los principales costos tanto de inversión como de mantenimiento para tener una idea general. Una vez se haya seleccionado un tratamiento, se podrá ver su presupuesto más en detalle en la sección 9 del proyecto llamada "cómputos y presupuesto".

- Dependencia de condiciones ambientales

Para poder obtener estas variables con mayor precisión, se decidió hacer el cálculo preliminar de cada alternativa. Este último se puede observar en el Anexo 14.1 de este proyecto. Para el sistema seleccionado, el cálculo se puede observar en detalle en la sección siguiente (Memoria de cálculo: Diseño del tratamiento seleccionado punto 7.4).

A partir de los resultados del dimensionamiento preliminar, y de ciertos datos extraídos de bibliografía, se procedió a realizar un cuadro comparativo entre las distintas alternativas propuestas (Tabla 4). Para poder ver de manera más visual si los aspectos son positivos o negativos para su implementación, se planteó una coloración con respecto a las variables. El criterio de colores empleado es el siguiente:

Tabla 3: Criterio de coloración

Aporte	Color
Positivo	Verde
Moderado	Amarillo
Negativo	Rojo

Tabla 4: Análisis comparativo de las alternativas posibles

	Lodos activos	Laguna aireada mecánicamente
Ocupación superficial del terreno (ha)	0,028	1,06
Consumo energético por día (kWh)	808,90	5529,60
Producción de lodos	Alto	Medio
Eficiencia de remoción DBO (%)	95-99	93
CAPEX (USD)	USD 72.928 + IVA	USD 294.305 + IVA
OPEX	Elevado	Medio
Dependencia del clima	No	Si

En la tabla 5, se puede observar cómo se calculó el CAPEX en función de las principales inversiones que deberían ser realizadas para cada una de las alternativas.

Tabla 5: Cálculo aproximado del CAPEX

	Lodos activos (reactor biológico)	Laguna aireada mecánicamente
Impermeabilización suelo	-	USD 27024 + IVA
Movimiento de suelo y excavación	-	USD 75.281 + IVA
Aireadores superficiales	-	USD 192000 + IVA
Hormigón	USD 44440 + IVA	-
Difusores	USD 9288 + IVA	-
Sopladores	USD 19200 + IVA	-
COSTO TOTAL (USD)	USD 72.928 + IVA	USD 294.305 + IVA

Cabe aclarar que para el cálculo del CAPEX de lodos activos, no se tuvo en cuenta la construcción del sedimentador secundario ya que en la opción de lagunas aireadas de mezcla completa tampoco se tuvo en cuenta la necesidad de una laguna facultativa para la sedimentación. Esto último se decidió de esta manera ya que teniendo en cuenta sólo los “reactores” el análisis ya era suficiente para tomar una decisión no habiendo sido diferente en el caso de tener en cuenta los sedimentadores correspondientes.

Los valores que fueron tenidos en cuenta para hacer el cálculo del CAPEX fueron los siguientes:

- El valor del hormigón se obtuvo a partir de la cotización de una constructora que ofrece un hormigón con espesor de 30 cm. El mismo corresponde a USD 55 + IVA por m²
- El valor de cada soplador Repicky R5000 corresponde a USD 3200 + IVA.
- Los difusores cotizados fueron los Repicky modelo RG-300, con un valor de USD 27 + IVA por difusor
- Para generar los costos de movimiento de suelo y excavación, se consultaron tres agencias y se realizó un promedio de las cotizaciones obteniendo un promedio de USD 2,8 + IVA por cada m³ de suelo
- Para la impermeabilización del terreno, se optó por una geomembrana de HDPE espesor 2mm marca DAJIN, que posee un valor de USD 2,60 + IVA por m² a impermeabilizar
- El valor de los aireadores superficiales de la laguna fue de USD 2.000 + IVA.

A partir de la tabla 4, se puede observar que la laguna aireada mecánicamente es la opción que posee la mayor cantidad de aspectos negativos. Sobre todo en los puntos más importantes a tener en cuenta a la hora de tomar una decisión. Más allá de que posee una buena eficiencia de remoción, llegando a los valores de la normativa, y que posee una menor producción de lodos que eso impacta en menores gastos operativos, ocupa más del espacio total que hay disponible para el proyecto por lo que no permitiría colocar módulos fotovoltaicos. No sólo esto último sino que, si se tienen en cuenta el resto de las unidades de la PTEL, el espacio del proyecto debería ser ampliado ya que las lagunas ocuparían más que 1 ha. Otro punto negativo de la laguna es que posee un consumo energético 12 veces mayor que los lodos activos. Este alto consumo no sigue el lineamiento de los ODS planteados por la empresa contratante. Además, como se mencionó anteriormente, la tierra en el Gran La Plata es la más cara del país, siendo deseable siempre ocupar el menor espacio posible en cuanto a terreno. Si se tiene en cuenta entonces el valor por hectárea de la Tierra donde se sitúa el proyecto la opción de lagunas es aún más desfavorable.

Otro punto positivo de los lodos activos es que no se ven afectados por el clima, asegurando siempre un tratamiento efectivo, necesario en este tipo de industrias tan contaminantes. Pero sobre todo que al ocupar poco espacio permite colocar módulos fotovoltaicos respetando el espacio brindado por la empresa contratante para este proyecto.

Por estas razones, se decidió elegir la opción de **lodos activos**.

6.3. Tratamiento terciario

Para poder cumplir con ciertos límites de descarga más exigentes, algunas refinerías emplean otra etapa adicional de tratamiento, que se denomina “pulido” o tratamiento terciario. Éste puede involucrar el uso de carbón activado, antracita o arena, para filtrar impurezas remanentes, tales como biomasa, sedimentos, trazas de metales y algunos químicos (IAPG, 2011). Este tipo de tratamiento se utiliza cuando las normativas son muy exigentes y no basta con el tratamiento primario y secundario para llegar a los valores máximos permisibles.

A continuación, se describirán los tratamientos terciarios más utilizados en las refinerías. En el caso particular de Buenos Aires, y sobre todo de La Plata que está bajo la supervisión del ADA, la cloración es muy utilizada a lo largo de todas las PTEL ya que la demanda de cloro debe ser cumplida por ley.

6.3.1. Filtración

Este tipo de tratamiento se utiliza cuando los sólidos sedimentables poseen una concentración mayor a la permitida aún luego del tratamiento secundario. En el caso de las refinerías, los medios filtrantes más utilizados son arena y antracita.

Estos sistemas necesitan ser lavados periódicamente de manera contraria al flujo establecido para eliminar los sólidos atrapados. El agua que sale de este lavado puede ser reenviada a la PTEL.

El arena y el antracita se pueden combinar en un filtro dual para aumentar la eficiencia. Las partículas más gruesas son retenidas por la antracita y los sólidos finos se retienen en la arena.

En muchas refinerías, a este tratamiento se le agrega un polímero para aumentar la remoción de sólidos.



Figura 34: filtros de arena, marca *filtromatic* (Fuente: <http://filtromatic.com/listing/filtros-de-arena-de-lecho-alto/>)

Aunque la normativa de este proyecto es muy exigente en términos de sólidos suspendidos con el tratamiento primario y secundario es suficiente para obtener los valores máximos ya que el tratamiento primario está bastante enfocado en eliminar este contaminante por lo que no es necesario una etapa de filtrado.

Además, los filtros presentan desventajas tales como imposibilidad de soportar *upsets* en el clarificador secundario y calidad limitada (por debajo de los 40 micrones y sin calidad por debajo de los 10 micrones).

6.3.2. Carbón activado

Como se mencionó anteriormente, este tratamiento puede colocarse en combinación con el tratamiento secundario pero también puede colocarse luego como un tratamiento terciario. La función del mismo es eliminar compuestos orgánicos disueltos.

El agua que sale del tratamiento secundario pasa por un lecho de carbón activado granular (GAC por sus siglas en inglés) donde los compuestos orgánicos son absorbidos. El lecho debe ser regenerado de manera periódica para remover los orgánicos acumulados.

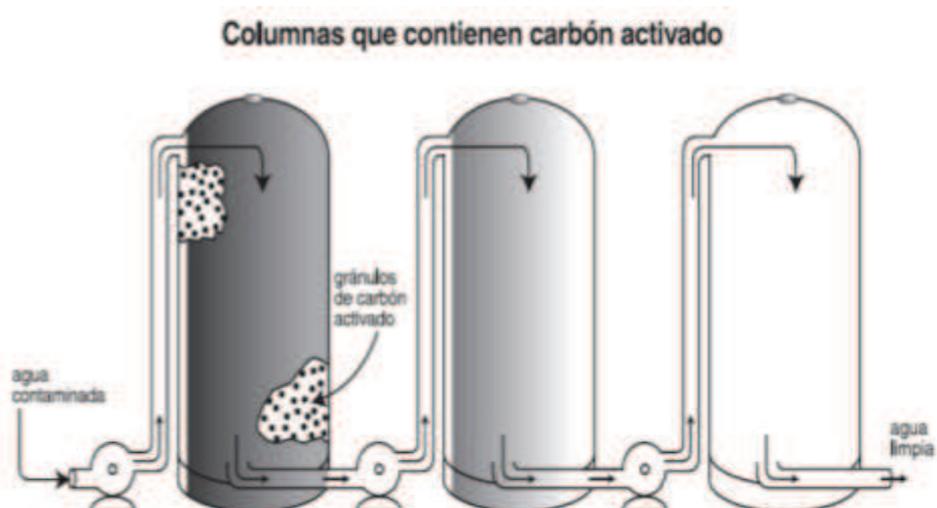


Figura 35: Esquema de filtros de carbón activado (Fuente:

<https://image.slidesharecdn.com/carbonactivado-150315195836-conversion-gate01/95/carbon-activado-10-638.jpg?cb=1430776300>)

Se utiliza principalmente para disminuir la DBO a niveles de entre 3 y 10 ppm, los hidrocarburos a menos de 1 ppm y el fenol a niveles cercanos a cero (Bush, 1980). Como la normativa de estos contaminantes no es tan exigente y en el caso del fenol el tratamiento secundario con los microorganismos específicos es suficiente, en este proyecto no se colocará este tipo de tratamiento terciario.

Al igual que los filtros antes mencionados, los de carbón no soportan gran cantidad de sólidos suspendidos y poseen problemas de crecimiento biológico.

6.3.3. Tecnología de separación por membranas impulsadas por presión

Otro tipo de tecnologías que se usan como tratamiento terciario en algunas refinerías, es el de la tecnología por membranas. Dentro de los procesos impulsados por presión se pueden diferenciar los siguientes: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (RO), pervaporación (PV) y permeación de gas (GP) (Jafarinejad, 2017).

Normalmente se utilizan sistemas de MF, UF, NF y RO. Además, los mismos también permiten eliminar bacterias (excepto la MF).

6.3.3.1. Microfiltración y ultrafiltración

Este tipo de filtraciones permiten remover sólidos suspendidos finos del efluente. Por su tamaño de poro, la microfiltración elimina partículas de hasta 0,1 μm mientras que la UF de hasta 0,01 μm . Son procesos de separación por presión que separan el particulado de componentes solubles. Los materiales que se usan en este tipo de membranas son poliméricos y naturalmente hidrofóbicos. La desventaja que poseen es que son muy susceptibles al taponamiento orgánico por grasas y aceites (se suele usar cuando la concentración de HC es menor a 1 ppm) sino se recomienda carbón activado granular (GAC) como pretratamiento. El efluente tratado por este método permite ser reutilizado para incendios o como agua de servicios (IPIECA, 2010). La UF puede utilizarse para reemplazar la desinfección (lo mismo ocurre con NF y RO).

6.3.3.2. Nanofiltración

Este tipo de membranas permite remover ciertos componentes orgánicos disueltos y disminuir la dureza del agua. Este proceso requiere de presión media por lo que se usa menos presión que en la ósmosis inversa (IPIECA, 2010).

Las membranas de nanofiltración son de estructura microporosa y pueden retener partículas con un tamaño de 0,1 nm - 0,001 μm . Por esta razón, este proceso separa del agua la mayoría de moléculas, como sustancias orgánicas (proteínas, azúcares), microorganismos y algunas sales multivalentes, aunque las de peso molecular más bajo quedan retenidas en la membrana parcialmente (NE, 2020).

6.3.3.3. Ósmosis inversa

Este proceso puede remover sales y metales disueltos permitiendo generar agua apta para reuso en la refinería. El poro de este tipo de sistemas es menor a $0,001 \mu\text{m}$. Permite el pasaje de agua pura con la exclusión de sales con un ratio de rechazo del 99% o más. La desventaja es que son aún más susceptibles al taponamiento por lo que los HC deben tener una concentración menor a $0,1 \text{ ppm}$ (IPIECA, 2010).

Se decide no colocar tratamiento terciario por membranas ya que no es necesario desde el punto de vista de los sólidos. Sí podrían colocarse para reuso de agua o para desinfectar el efluente. De todas maneras, antes de colocar un tratamiento secundario con este tratamiento terciario sería más recomendable desde un punto de vista económico y de espacio usar directamente la tecnología de MBR.

6.3.4. Oxidación química (o avanzada)

El objetivo de este tratamiento es el de disminuir la DQO, es decir los compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos traza como los fenoles y cianuros.

Los principales reactivos (oxidantes) que pueden utilizarse son:

- peróxido de hidrógeno
- dióxido de cloro
- ozono

La luz UV se puede emplear como catalizador.

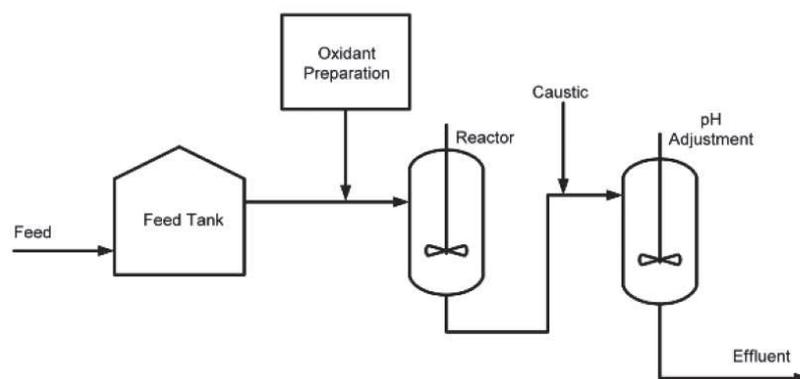


Figura 36: Esquema del proceso de oxidación química (IPIECA, 2010)

En esta refinería, este tipo de tratamiento tampoco es necesario ya que ya se cumple con normativa de fenoles y cianuro.

6.3.5. Desinfección por cloración

El objetivo de este tratamiento es evitar la propagación de las enfermedades hídricas mediante la destrucción de los organismos patógenos que las originan (Procesos Industriales, 2018). Es decir, cuidar la salud humana. Hay otros métodos de desinfección como el ozono o la luz UV.

El cloro es el desinfectante más utilizado ya que es económico, tiene efecto residual, un porcentaje de desinfección de entre 98 y 99% con una baja dosis de 2 a 8 mg/L para efluentes de barros activados (Diseño de tratamiento de efluentes, 2020). En Argentina, es el método terciario más utilizado en las PTEL.

Aunque como se mencionó anteriormente, este efluente no posee microorganismos patógenos y el cloacal es tratado aparte, se decide implementar una cámara de cloración para cumplir con la normativa que plantea que los establecimientos que puedan afectar a la salud, bienestar público o la calidad de una fuente de agua deben satisfacer la demanda de cloro previo a su descarga. Además que, la demanda de cloro también debe ser satisfecha en la descarga a conducto superficial para asegurarse de no contaminarse con patógenos. Por esta razón, se toma este valor de bibliografía.

Para realizar esto último, se propone una cámara de cloración laberíntica que permita el tiempo necesario de contacto entre el cloro y el efluente para garantizar que la demanda de cloro se cumpla y no se libere ningún microorganismo patógeno al conducto pluvial que luego pueda terminar en el Canal Santiago. Esta estructura laberíntica permite disminuir el espacio a ocupar aprovechando al máximo el espacio disponible.



Figura 37: Cámara de cloración (Fuente: <https://sswm.info/factsheet/disinfection-and-tertiary-filtration>)

6.4. Cámara de muestreo y medición de caudal

Según la resolución 607/2012 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, los establecimientos industriales y/o especiales comprendidos en el artículo 2º del Decreto N° 674/89 y su modificatorio, deberán poseer una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC), destinada al ejercicio de las funciones de fiscalización de la autoridad de aplicación, de acuerdo con las especificaciones enunciadas en los documentos que corren adjuntos como anexo (Jefatura de gabinete de ministros, 2012). Por esta razón, al final del tren de tratamiento se colocará una cámara CTMyMC.

6.5. Disposición de lodos

En este proyecto no se diseña un tratamiento para los lodos ya que, al poseer contacto con hidrocarburos, los lodos del proceso son considerados como residuos peligrosos (Y9 según la Ley 24.051). Por esta razón, el destino final de los lodos es la retirada por un gestor autorizado para su envío a disposición final autorizada. En este caso, se contrata a la empresa Desler SA quien se encarga del transporte de estos residuos y de su disposición final. En este caso los mismos serán tratados por Desler SA¹⁰ en un proceso de landfarming aprobado por la Resolución 410/2018 para este tipo de residuos. El mismo se desarrolla en la planta Ipes de esta empresa. Al operar una parcela por cliente, se evita la mezcla de corrientes de diferentes fuentes y permite que cada uno pueda hacer evaluaciones

¹⁰ <http://www.desleronline.com/residuos-industriales/>

particulares sobre la evolución del tratamiento y verificar la finalización del proceso y la consecuente liberación de la parcela.

Antes de ser entregados a Desler SA, en primer lugar los fangos son deshidratados para aprovechar los HC y para disminuir los costos al ser menor el volumen de lodos a tratar. A continuación, se enuncian las unidades que generan lodos.

6.5.1. Unidades generadoras de lodos

6.5.1.1. Lodos procedentes del API

En estos equipos además de separar grasas y aceites por superficie, se genera una decantación de lodos por el fondo que hay que purgar y tratar adecuadamente. Una característica de estos fangos es que en su composición se pueden encontrar arenas, sólidos inorgánicos y orgánicos, así como hidrocarburos impregnando a los mencionados sólidos (Hernando Marcos, 2011).

En este tipo de lodos, se encuentran cantidades de hidrocarburos que pueden ser recuperadas. Esto último se realiza gracias a un proceso de centrifugación. Los HC son recuperados y reprocesados mientras que el agua vuelve a la planta de tratamiento de efluentes.

Este tipo de barro se los conoce como barro primarios, usualmente son más fáciles de espesar y deshidratar. El contenido de sólidos es usualmente entre 3 y 4% (FIUBA, NE).

6.5.1.2. Lodos procedentes del DAF

Estos fangos son separados por superficie en forma de espumas y generalmente vienen acompañados de cantidades variables de grasas y aceites, así como de los reactivos o sus derivados utilizados en la coagulación y floculación. La concentración de estos fangos está comprendida entre un 3 y 3,5% (Hernando Marcos, 2011). Según la FIUBA, el contenido de sólidos de este tipo de barro es de entre un 2 y 4% (FIUBA, NE).

Al igual que en los lodos del API, hay cantidades de HC que pueden ser recuperadas. Se le realiza también un proceso de centrifugación. Los HC vuelven a ser procesados mientras que el agua extraída se reenvía a la PTEL. La centrifuga es de tres fases, de tal forma que se obtiene la torta, la fase acuosa y los aceites por separado (Sainz Sastre, 2007).

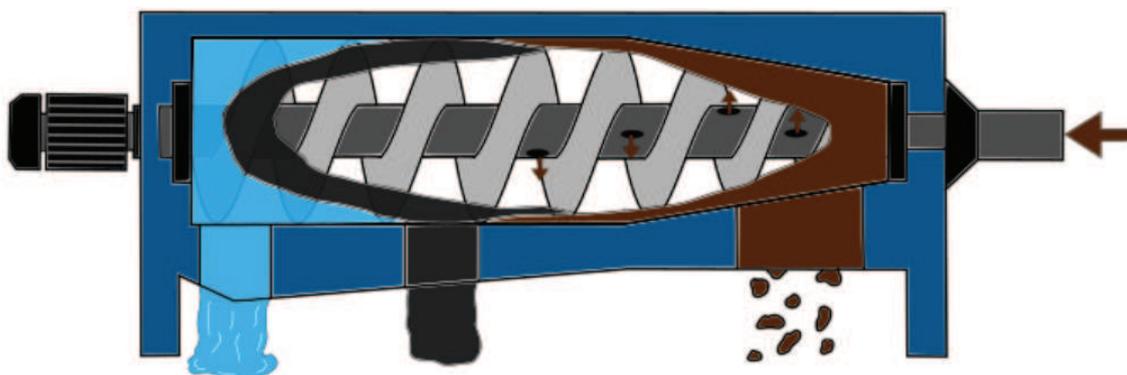


Figura 38: Funcionamiento de una centrifugadora de tres fases (Fuente: www.serecogestion.com/tratamiento-de-lodos/centrifuga-tratamiento-lodos/)

6.5.1.3. Lodos procedentes del sistema de lodos activos

Este tipo de lodos está compuesto mayormente por biomasa del sistema de lodos activos. Una gran parte de los mismos es recirculada en el sistema. Se los denomina barros biológicos (FIUBA, NE).

La concentración de estos fangos es muy baja y corresponde a un 0,8% en un proceso de lodos activos convencional. Una característica fundamental de estos fangos es que se trata en su mayoría de materia orgánica fácilmente biodegradable, y en consecuencia presenta unos valores de DBO muy elevados (Hernando Marcos, 2011). Según FIUBA, la concentración de sólidos es usualmente entre 0,5 y 0,8% y es un barro mucho más difícil de deshidratar (FIUBA, NE). Por esta razón, se recomienda su espesado previo al centrifugado.

En este tipo de lodos, la cantidad de hidrocarburos es despreciable ya que cuando el efluente ingresa en el sistema de lodos activos, la concentración de HC ya es menor a la de la normativa y se eliminan aún más por lo que no pueden recuperarse. De todas maneras, al no poder asegurarse que la concentración es nula, se dispondrán como residuos peligrosos Y9.

Para transportar menor cantidad y disminuir costos operativos estos lodos se separan de los lodos oleosos y se les realiza un espesado por gravedad previo al centrifugado ya que al poseer concentraciones muy bajas en sólidos en suspensión, se logra aumentar dicha

concentración con el fin de poder ser procesado por el mismo proceso de centrifugación que el resto de los lodos al disminuir el tamaño de los equipos.

En este proyecto, no se diseña el tratamiento de lodos ya que no es parte del mismo. Sí se calculará el caudal de lodos a extraer para el cálculo de las bombas y para conocer el costo de la disposición de los mismos pero la parte del espesado por gravedad y la centrifugación no será diseñado en este proyecto.

6.5. Esquema final PTEL

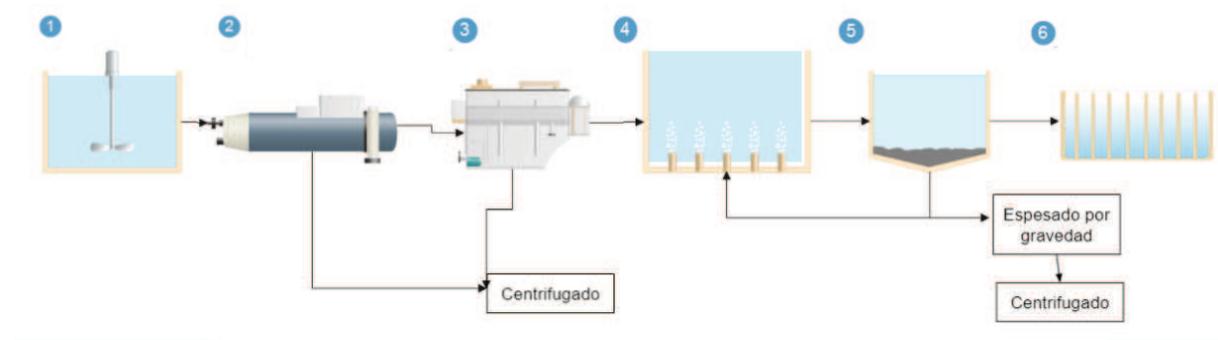


Figura 39: Esquema final del tratamiento seleccionado. 1:Ecuilizador, 2:Separador API, 3:DAF, 4:Reactor biológico, 5:Sedimentador secundario (4 y 5 forman el sistema de lodos activados), 6:Cámara de cloración. Se observa también el deshidratado de lodos previo a su disposición final (Fuente: Elaboración propia).

7. Memoria de cálculo: Diseño del sistema de tratamiento seleccionado

En esta sección, se realizarán las memorias de cálculo del tren de tratamiento que se seleccionó en este proyecto para el tratamiento de los efluentes industriales de esta refinería. Las memorias de cálculo son los procedimientos descritos de forma detallada de cómo se realizaron los cálculos de las ingenierías que intervienen en el desarrollo de este proyecto.

7.1. Sistema de ecualización

7.1.1. Dimensiones del tanque

Para dimensionar esta unidad es necesario conocer la variación de caudal en la industria. Como se mencionó en la sección anterior, la planta trabaja de manera continua y posee tres tandas de producción.

Para dimensionar la unidad, en primer lugar se calcula el caudal medio a partir de la variación del caudal. Luego, se calcula el volumen acumulado por hora y el volumen promedio acumulado por hora. Estos valores se observan en la tabla a continuación.

Tabla 6: Caudal para cada período de tiempo y volúmenes promedio y acumulados

Tiempo (h)	Caudal (m ³ /h)	V acumulado por hora (m ³)	V promedio acumulado (m ³)
0	255	255	280
1	255	510	559
2	255	765	839
3	255	1020	1119
4	255	1275	1398
5	255	1530	1678
6	255	1785	1958
7	255	2040	2237
8	389	2429	2517
9	389	2818	2797
10	389	3207	3076
11	389	3596	3356
12	389	3985	3636
13	389	4374	3915
14	389	4763	4195
15	389	5152	4475
16	195	5347	4754
17	195	5542	5034
18	195	5737	5314
19	195	5932	5593
20	195	6127	5873
21	195	6322	6153

22	195	6517	6432
23	195	6712	6712

El caudal medio es de **280 m³/h**.

A partir de los valores de la tabla 6, se procedió a graficar el volumen promedio acumulado y el volumen acumulado por hora en función del tiempo.

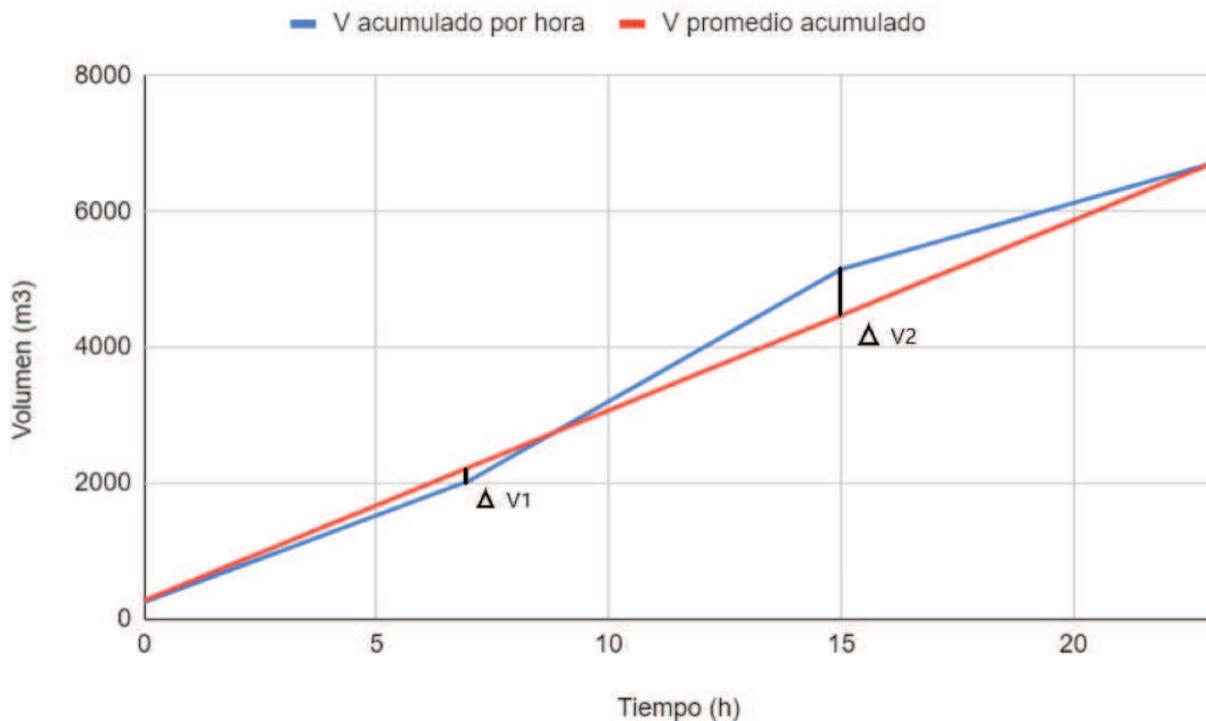


Figura 40: Gráfico del volumen promedio acumulado y el volumen acumulado por hora en función del tiempo

A partir de este gráfico, se pueden determinar los valores de ΔV_1 y ΔV_2 .

$$\Delta V_1 = 2237 - 2040 = 197 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_2 = 5152 - 4475 = 677 \text{ m}^3$$

Gracias a los mismos se puede obtener el valor del tanque de equalización según la siguiente ecuación.

$$V_{cc} = 1,2 * (\Delta V_1 + \Delta V_2) \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

- V_{cc} corresponde al volumen del tanque de equalización en m³
- 1,2 corresponde al margen de seguridad adoptado de 20%

El volumen del tanque es entonces de **1.050 m³**. Adoptando un tanque rectangular, una altura de 5 metros y 15 metros de largo se obtiene un ancho de 14 metros.

Tabla 7: Dimensiones del tanque de ecualización

Dimensiones	Valor
Altura (m)	5,00
Revancha (m)	0,50
Altura total (m)	5,50
Ancho (m)	14,00
Largo (m)	15,00

Cabe mencionar que, para evitar la liberación de gases tóxicos al ambiente, esta unidad se recomienda tapar.

7.1.2. Sistema de aireación

Para prevenir condiciones anaeróbicas que puedan generar olores y sustancias corrosivas, además de deposición de sólidos, es necesario contar con un adecuado sistema de aireación y mezclado. De acuerdo a la bibliografía consultada (Metcalf & Eddy, 2003), un tanque de homogeneización requiere que el aire sea suplementado a una tasa de 0,01 a 0,015 m³/m³.min.

Otra manera de saber cuánta aireación es requerida es cumpliendo los requerimientos de mezcla. Según Metcalf & Eddy, los requerimientos de mezcla, generalmente brindados por mezcladores superficiales, para un ecualizador con una concentración de sólidos de 210 ppm, oscilan entre 0,004 a 0,008 kW/m³ de reactor (Metcalf & Eddy, 2003). En el caso de esta refinería la concentración de sólidos es de 213 ppm por lo que los valores de Metcalf & Eddy pueden aplicarse sin problemas. Según Eckenfelder, se utiliza una densidad de potencia de entre 0,003 y 0,0045 kW/m³ (Eckenfelder, 2000). Por esta razón, para evitar no alcanzar la aireación necesaria y se depositen sólidos, se adopta una densidad de potencia de 0,0045 kW/m³ para el cálculo de la potencia del aireador.

A partir de ese valor, se calcula la potencia de aireador necesaria gracias a la siguiente ecuación.

$$P_A = 0,0045 \frac{kW}{m^3 \text{ reactor}} * V_{cc} \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

- P_A es la potencia del aireador en kW
- V_{cc} es el volumen del equalizador en m^3

La potencia del aireador es de **4,72 kW**.

Para brindar el caudal de aire necesario y la mezcla necesaria se utiliza un aireador Landy-7 de 300 cm de diámetro con 4,72 kW de potencia marca Land Industrie. El mismo posee una transferencia de 365 kg O_2/h por lo que este aireador es capaz de alimentar a todo el tanque, cumpliendo la profundidad de 5 m. También cumple con el radio de mezcla y dispersión de O_2 . Su ficha técnica se puede observar en el enlace de donde proviene la figura a continuación.

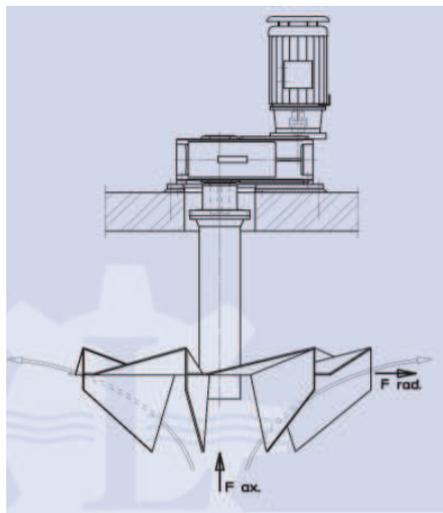


Figura 41: Aireador superficial seleccionado

(Fuente: https://www.landindustrie.nl/fileadmin/user_upload/LANDY_High_Efficiency_Surface_Aerator.pdf)

Al salir entonces del equalizador, el caudal será constante y el mismo es de **280 m³/hora**. Es importante tener en cuenta que esta unidad debe ser limpiada regularmente para evitar la acumulación de sedimentos.

7.2. Separador API¹¹

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este tratamiento es la separación de grasas y aceites. Para que las mismas puedan ser removidas por este procedimiento deben cumplir las siguientes características enunciadas por Sainz Sastre:

- Estar en fase líquida.
- Encontrarse en estado libre (no eliminándose en consecuencia aquellas grasas y aceites que se encuentren disueltas o emulsionadas).
- Tener una densidad menor que la del agua.
- Que el tamaño de la gota sea superior a un valor predeterminado en el diseño. Generalmente el punto de corte se fija en 0,15 mm (Sainz Sastre, 2007).

7.2.1. Cálculo velocidad ascensional

En el diseño de los separadores API, la base de partida es la velocidad ascensional de las gotas de aceite de acuerdo con la ley de Stokes.

Para número de Reynolds bajo la ley de Stokes es la siguiente:

$$v = \frac{g * (S_w - S_0) * d^2}{18 * \mu} \quad (Ec. 3)$$

Donde:

- v es la velocidad ascensional del aceite en cm/s
- g la constante gravitatoria en cm/s^2
- S_w es el peso específico del agua en g/cm^3
- S_0 es el peso específico del aceite a eliminar en g/cm^3
- d es el diámetro de la partícula en mm
- μ es la viscosidad en centipoises (cp)

Y, para tamaño de gotas de aceite de tamaño igual o superior a 0,15 mm (punto de corte adoptado), la fórmula anterior queda de la forma siguiente:

¹¹ Para el dimensionamiento de este separador, se tomó el diseño descrito en el siguiente libro: Juan Antonio Sainz Sastre. (2007). Tecnologías para la sostenibilidad Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Colección EOI Medio Ambiente: Fundación EO. A su vez el mismo hace referencia al diseño enunciado por el API en su manual 142.

$$v = \frac{1,224 * (S_w - S_0)}{\mu} \text{ (Ec. 4)}$$

Como la temperatura es de 37°C, se toma la densidad y viscosidad del agua para esa temperatura (esta valor se encontró a partir de la figura 99 del anexo). Es muy importante controlar la misma antes de la entrada al tratamiento ya que para que ocurra la desnitrificación la temperatura en el tratamiento secundario debe estar entre 32 y 38 °C (además de ser necesario para las bacterias). En el caso de que la misma sea mayor a 38 °C, el agua del desalador, que es la que puede tener alta temperatura, se debe desviar y enfriar antes de su ingreso a la PTEL.

Como $S_w=0,994 \text{ g/cm}^3$, $S_0=0,93 \text{ g/cm}^3$ ¹² y $\mu= 0,6915 \text{ cp}$, la velocidad ascensional del aceite es de **0,113 cm/s**.

7.2.2. Factores a tener en cuenta en el diseño

A la hora de diseñar estos equipos, se deben tener en cuenta correlaciones fijadas entre diferentes parámetros y dimensiones. Las mismas fueron creadas de acuerdo con la experiencia en múltiples plantas operativas por el Instituto Americano del Petróleo¹³ y se enuncian a continuación:

- El valor de la velocidad longitudinal (V) que se adopta es de 15 x v (velocidad ascensional de las gotas de aceite), siendo el valor máximo que puede alcanzar de 1,7 cm/seg

Entonces:

$$V = 15 * v \text{ (Ec. 5)}$$

$$V \leq 1,7 \text{ cm/s (Ec. 6)}$$

- La relación entre la Profundidad / Anchura del canal deberá estar comprendida entre 0,3 y 0,5.
- La anchura del canal estará comprendida entre 2 y 6 m.

¹² Valor obtenido de la tesis de Diaz Huerta.

¹³ API 421 "Design and Operation of Oil-Water Separators".

- La profundidad mínima del agua será de 1 m y la máxima de 2,5 m.
- La mínima relación L/B es de 5.

7.2.3. Cálculo de la velocidad longitudinal

Como la velocidad ascensional del aceite es de 0,113 cm/s, a partir de la ecuación 3, se obtiene que la velocidad longitudinal del agua (V) es de **1,69 cm/s**. Se puede observar que se cumple con las recomendaciones del API (ecuación 6).

7.2.4. Cálculo dimensiones del separador

El área horizontal del canal separador, viene dada por:

$$S_h (m^2) = B (m) * L (m) = \frac{Q(m^3/s)}{v (m/s)} (Ec. 7)^{14}$$

Donde:

- S_h es la superficie horizontal
- B es la anchura del API
- L es la longitud del API
- Q es el caudal de diseño
- v la velocidad ascensional del aceite

Como se sabe que el caudal de diseño es de 280 m³/hora, es decir 0,078 m³/s y la velocidad ascensional es de 1,13*10⁻³ m/s, la superficie horizontal es de **69 m²**.

Despejando la longitud de la ecuación 7, se obtiene que:

$$L (m) = \frac{Q (m^3/s)}{v (m/s) * B (m)} (Ec. 8)$$

Para compensar las turbulencias y cortocircuitos hidráulicos que se van a generar en el equipo, a la longitud se le aplica un factor de corrección (F), quedando la fórmula anterior:

$$L (m) = F * \frac{Q (m^3/s)}{v (m/s) * B (m)} (Ec. 9)$$

¹⁴ Observar que en la ecuación 8 no está colocando el factor F y por eso la superficie horizontal es en verdad de 112,5 m².

Donde:

- F es el factor de diseño compuesto por un factor de turbulencia y un factor de cortocircuito.

Para determinar este factor, se utiliza la relación entre la velocidad longitudinal y ascensional (V/v) y el siguiente gráfico:

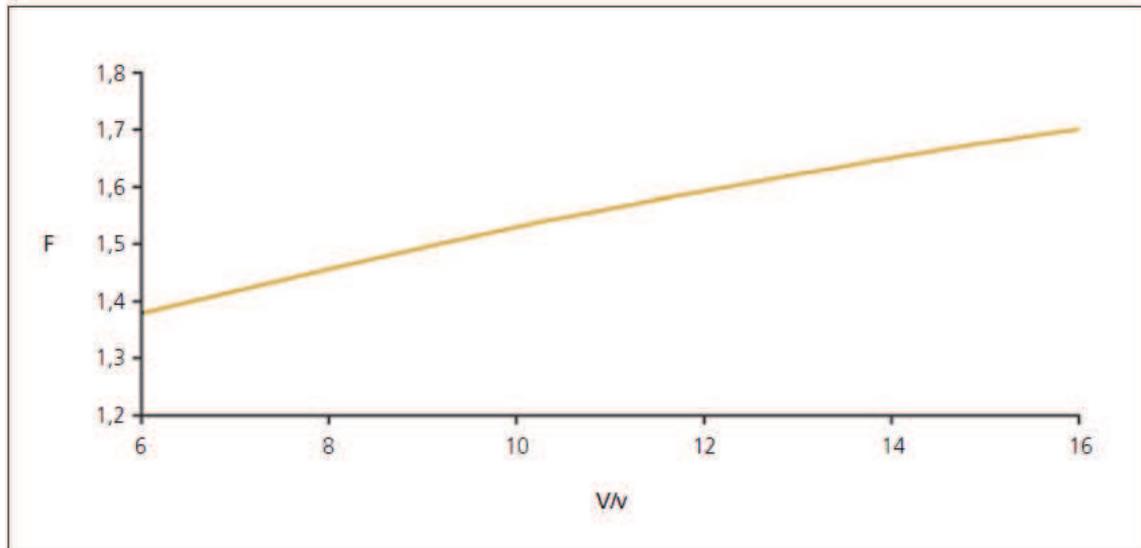


Figura 42: Gráfico donde se relaciona V/v con F (Sainz Sarte, 2007)

Como V/v es igual a 14,96, F es igual a aproximadamente **1,67**.

Por otro lado, la sección transversal del canal viene dada por:

$$S_t (m^2) = \frac{Q (m^3/s)}{V (m/s)} = B (m) * D (m) \text{ (Ec. 10)}$$

Donde:

- S_t es la superficie transversal
- D es la profundidad del separador

Como la velocidad longitudinal es de 0,0169 m/s, la superficie transversal es de **4,6 m²**.

Despejando el caudal de la ecuación 10, se obtiene entonces que:

$$Q (m^3/s) = B (m) * D (m) * V (m/s) \text{ (Ec. 11)}$$

Si se sustituye el caudal de la ecuación 11 en la ecuación 9, se obtiene que:

$$L (m) = F * D (m) * \frac{V(m/s)}{v (m/s)} \text{ (Ec. 12)}$$

Como se mencionó anteriormente:

- La relación entre la Profundidad / Anchura del canal deberá estar comprendida entre 0,3 y 0,5.
- La anchura del canal estará comprendida entre 2 y 6 m.
- La profundidad mínima del agua será de 1 m y la máxima de 2,5 m.

Es decir que:

$$\frac{D (m)}{B (m)} = 0,3 - 0,5 \text{ (Ec. 13)}$$

Por lo que se dispone de dos ecuaciones con dos incógnitas.

Se adopta que **D = 1,5 m**. De la ecuación 10, se obtiene que **B = 3 m**.

Se verifica que la ecuación 13 se cumple ya que el cociente da 0,5 y también se respetan la anchura y profundidad recomendadas.

De la ecuación 12, se obtiene la longitud, la misma es de **37,5 m**. Se comprueba que L/B es mayor a 5 siendo 12,5.

Luego, se debe calcular el tiempo de retención del líquido en horas. El mismo viene dado por la siguiente ecuación:

$$T_r (h) = \frac{Vol (m^3)}{Q (\frac{m^3}{h})} \text{ (Ec. 14)}$$

De donde

$$T_r (h) = \frac{B (m) * D (m) * L (m)}{Q (\frac{m^3}{h})} \text{ (Ec. 15)}$$

En este caso, el tiempo de retención es de **0,6 horas** o **36 minutos**.

Como dentro de los modelos de API diseñados por Pan America Environmental el mayor largo corresponde a 24 m, se decide colocar dos separadores API en paralelo, dividiendo el caudal en dos partes iguales. Esto último también se decide hacer ya que se ocuparía demasiado espacio en longitud y muy poco en ancho, de esta manera se logra ocupar un lugar más proporcionado permitiendo hacer esa organización más eficiente y disminuyendo los tiempos de retención.

Por esta razón, se vuelve a hacer el dimensionamiento pero tomando como caudal de diseño 140 m³/hora. La velocidad ascensional y longitudinal además del factor F no se ven afectados. En la tabla a continuación, se puede observar los valores obtenidos para cada uno de los separadores API y como los mismos cumplen con los enunciados del API.

Tabla 8: Dimensionamiento de los separadores API a ser utilizados en la PTEL del proyecto

Parámetro	Valor
velocidad ascensional (m/s)	0,00113
velocidad longitudinal (m/s)	0,01690
caudal (m ³ /hora)	140,00
caudal (m ³ /s)	0,04
superficie horizontal (m ²)	34,41
Largo; L (m)	25
sección transversal (m ²)	2,30
F	1,67
altura; D (m)	1,00
ancho; B (m)	2,30
L/B	10,85
superficie horizontal real (m ²)	57,47
tiempo de retención (h)	0,41

En función de los modelos presentados por Pan America Environmental se selecciona el modelo API-600 pero modificando el ancho y el alto. Esto se realiza sin problemas ya que el diseño API puede ser hecho a medida dependiendo las necesidades de cada proyecto y el presupuesto disponible.

Model	Length	Width	Height	Influent	Effluent	Oil Outlet	Oil Chamber	Influent Size	Effluent Size	Drain Size	Oil Outlet Size	Empty Weight	Operating Weight	GPM		
	A	B	C	D	E	F	Gals.					LBS	LBS	.85 SG	.90 SG	.95 SG
API-15	13'-8"	3'-4"	2'-7"	1'-2"	1'-1"	1'-0"	15	3"	3"	2"	2"	2417	5912	50	25	15
API-25	17'-2"	3'-10"	2'-9"	1'-2"	1'-1"	1'-0"	15	4"	4"	2"	3"	3375	9423	75	50	25
API-50	26'-6"	4'-8"	3'	1'-2"	1'-3"	1'-7"	17	6"	6"	3"	3"	5775	18544	150	100	50
API-75	32'-9"	5'-8"	3'-7"	1'-5"	1'-8"	2'-1"	22	6"	6"	3"	3"	8400	32605	225	150	75
API-100	33'-6"	6'-8"	4'-1"	1'-10"	2'-2"	2'-7"	26	6"	6"	3"	3"	10,182	46,526	300	200	100
API-150	37'-1"	8'-9"	4'-3"	2'	2'-4"	2'-9"	25	6"	6"	4"	4"	14,615	68,200	450	300	150
API-200	47'-6"	8'-8"	4'-9"	2'-1"	2'-11"	3'-1"	35	8"	8"	4"	4"	18,913	100,663	600	400	200
API-250	55'-6"	9'-3"	5'-3"	2'-4"	2'-11"	3'-3"	40	8"	8"	4"	4"	24,000	145,000	750	500	250
API-300	56'	10'-8"	5'-3"	2'-4"	2'-11"	3'-1"	45	8"	8"	4"	4"	26,424	163,524	850	600	300
API-400	66'-9"	11'-8"	6'-3"	3'-4"	3'-11"	4'-1"	50	12"	12"	4"	4"	36,100	258,640	1100	800	400
API-500	70'-3"	12'-8"	6'-9"	3'-4"	3'-11"	4'-1"	65	12"	12"	4"	6"	43,000	350,000	1400	1000	500
API-600	77'-8"	14'-8"	7'-9"	4'-4"	4'-11"	5'-1"	75	12"	12"	4"	6"	52,000	490,861	1800	1100	600

SG = Oil Specific Gravity

Flow rates are nominal and subject to change upon project review. Design subject to change without notice, drawing & dimensions not for construction

Figura 43: Datasheet de los separadores API brindados por Pan America Environmental

(Fuente:

<https://www.panamenv.com/wp-content/uploads/2019/04/API-OIL-WATER-SEPARATOR.pdf>)

Las dimensiones de las unidades API diseñadas se pueden ver a continuación, habiéndose tenido en cuenta una revancha de 20 cm:

Dimensiones	Valor
Altura (m)	1,00
Revancha (m)	0,20
Altura total (m)	1,00
Ancho (m)	2,30
Largo (m)	25,00

Además de las ecuaciones indicadas anteriormente, en el diseño de estos equipos hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

- El agua debe llegar a los separadores por gravedad, con el fin de evitar la formación de emulsiones, lo que llevaría consigo una pérdida importante de rendimiento. En este caso no es un problema ya que el agua proviene del equalizador que posee mayor altura. Deben evitarse turbulencias en la entrada del equipo, para ello se instalarán entradas múltiples.
- Estas superficies dan lugar a evaporaciones de aquellas grasas y aceites más volátiles, creando contaminación atmosférica, así como atmósferas peligrosas. Por esta razón, las mismas estarán tapadas y los COVs se recolectarán en el cabezal de COVs y son enviados a una unidad tratadora (como pueden ser métodos con carbón o biofiltros).

- Entre sus ventajas se encuentran su simplicidad, efectividad para eliminar el grueso de la contaminación por aceites, seguridad en su funcionamiento y la facilidad de mantenimiento y operatividad (Sainz Sastre, 2007).
- Las piletas API no deben estar apoyadas en el piso ni abiertas. Deben estar construidas sobre pilares. En este caso se utilizaron pilares de hormigón.

Con respecto a los valores de los contaminantes obtenidos luego de este tratamiento los mismos se pueden ver en la tabla a continuación. Aún ninguno cumple con la normativa.

Tabla 9: remoción de contaminantes en los separadores API

Contaminante	Concentración de entrada (ppm)	Eficiencia de remoción (%)	Concentración de salida (ppm)
Hidrocarburos	3.770	90	377,0
Sólidos suspendidos	213	50	106,5

7.3. DAF

Según Metcalf y Eddy, como la flotación depende en gran medida del tipo de superficie del material particulado, tests de laboratorio y plantas pilotos deben ser realizados para un correcto dimensionamiento.

El rendimiento de los sistemas DAF dependen mayormente en el cociente del volumen de aire con la masa de sólidos. Este cociente se determina por laboratorio y los valores rondan entre 0,005 y 0,06 según Metcalf y Eddy (Metcalf & Eddy, 2003). El mismo es una cuantificación de cuánta cantidad de aire es necesaria para flotar la cantidad deseada de sólidos a ser removidos y se expresa en cantidad de aire/cantidad de sólidos a ser removidos. Por esta razón, con una misma cantidad de aire, cuanto menor es A/S, mayor es la remoción de sólidos.

En sistemas con recirculación, como se utilizará en este proyecto, la relación aire-sólidos es la siguiente:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3*s_a*(f*P-1)*R}{s_a*Q} \quad (Ec. 16)$$

Donde:

- 1,3 es el peso específico del aire en mg/cm^3
- s_a es la solubilidad del aire a presión atmosférica en cm^3/L
- f es la fracción de aire disuelto a presión de trabajo (entre 0,5 y 0,9)
- P es la presión de trabajo en atm
- S_a son los sólidos suspendidos totales (SST) en mg/L
- R es el caudal de recirculación del efluente tratado presurizado en m^3/s
- Q es el caudal de diseño del elemento en m^3/s

Cabe aclarar que Q y R pueden ser expresados como volúmenes en función de los caudales.

A su vez, el aire y el líquido se mezclan bajo presión en un tanque de retención (tiempo de retención en el tanque de saturación). Para que en la cabeza de la bomba presurizadora la presión sea constante se utiliza un sistema de regulación, normalmente una válvula.

7.3.1. Cámara de flotación

Lamentablemente, en este proyecto no se pudieron realizar ensayos de laboratorio por lo que se adoptarán los valores en función de la bibliografía. En la tabla 10, se pueden observar los rangos recomendados según la bibliografía y los valores adoptados para el cálculo de A/S . Los datos bibliográficos fueron obtenidos en su mayoría del Eckenfelder ya que el caso tratado en el libro sobre DAF se basa en aguas a tratar de una refinería que salen del separador API como en este proyecto. Se utilizaron también los textos de Bush y Schultz al tratar también sobre el caso específico de una refinería. También se utilizó el Metcalf y Eddy. Todo esto último está citado en la bibliografía de este proyecto.

Tabla 10: Valores adoptados para el cálculo de la relación A/S

Parámetro	Rango bibliográfico	Valor adoptado
Presión de trabajo (atm)	1,36 a 4,8	4
Fracción de saturación	0,5 a 0,9	0,5
Recirculación (%)	5 a 300	25 ¹⁵
TRH (min)	1 a 30	28

La solubilidad del aire a presión atmosférica en mL/L a la temperatura del afluente es de $15,7 \text{ mL}/\text{L}$, según Metcalf.

¹⁵ Cabe mencionar que en algunas bibliografías distintas a la mencionada en este diseño (Metcalf & Eddy), la recirculación para estos casos es de mínimamente el 50%. Idealmente, entre 80 y 90%.

Se obtiene entonces que el valor de A/S es de 0,048, estando dentro de los rangos bibliográficos. De todas maneras, según Schultz, el valor de A/S genera realmente un impacto cuando la concentración de SST y aceites supera los 1.000 ppm que no es el caso de este influente.

Una vez obtenido este valor, se prosigue con el cálculo de la superficie de la cámara de flotación a partir de la carga hidráulica superficial.

$$S_F = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{min)}}{C_s \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min)}} \text{ (Ec. 17)}$$

Donde:

- S_F es la superficie de la cámara de flotación
- Q es el caudal de diseño (teniendo en cuenta también el caudal recirculado)
- C_s es la carga hidráulica superficial

Como antes de ingresar al separador DAF se unen los caudales de los dos separadores API, el caudal de diseño es de 4,68 m³/min y como se recircula un 25%, el caudal de diseño para este cálculo es de 5,85 m³/min. Según la bibliografía antes mencionada, la carga superficial varía entre 0,008 y 0,163 m³/m²*min. Schultz menciona que los rangos para la carga hidráulica superficial para un DAF para una refinería de petróleo depende de su forma. En el caso de que sea rectangular, los valores van entre 0,072 y 0,15 m³/m²*min mientras que si son circulares de 0,048 a 0,097 a m³/m²*min. Se adopta entonces una carga hidráulica superficial de **0,1 m³/m²*min**. Obteniendo una superficie hidráulica de **58,5 m²** gracias a la ecuación 17.

En este proyecto, se utilizará un DAF rectangular ya que esta forma posee ciertas ventajas en comparación con uno circular. Un ejemplo de esto es que los *skimmers* pueden remover los sólidos más fácilmente ya que el flujo es perpendicular a los mismos, se genera menos estrés en los contaminantes floculados y es más sencillo el ajuste de los vertederos del efluente (Schultz, 2006).

El siguiente paso, una vez obtenida la superficie, es calcular el volumen. El mismo se obtiene en función del tiempo de retención hidráulico.

$$V = TRH * Q \text{ (Ec. 18)}$$

Donde:

- V es el volumen en m³
- TRH es el tiempo de retención hidráulico en minutos
- Q es el caudal en m³/min

Como tiempo de retención hidráulico se adopta **28 minutos**. Obteniendo un volumen de **163,8 m³**.

Para obtener la altura se divide el volumen por la superficie de la cámara de flotación antes obtenida, dando una altura de **2,8 m**. Se adopta luego un largo de **18,3 m** obteniendo un ancho de **3,2 m** a partir de la superficie.

Teniendo en cuenta el caudal máximo, la altura, el ancho y el largo obtenido se selecciona el modelo DAF-600 del catálogo de Pan American Environmental (PAE).

Model	Length	Width	Height	Inlet	Outlet	Float Outlet	Sludge Vol. Gal.	Float Hopper Gal.	Inlet Size	Outlet Size	Sludge Outlet Size	Float Outlet Size	Empty Weight Lbs	Oper. Weight Lbs	Area Ft ²	Flow Rate GPM (Max.)
	A	B	C	D	E	F										
DAF-60	15'-2"	6'-0"	5'-7"	4'-4"	3'-11"	2'-9"	700	70	4"	4"	4"	3"	4876	19376	60	120
DAF-85	19'-8"	6'-0"	5'-7"	4'-4"	3'-11"	2'-9"	850	90	4"	4"	4"	3"	5356	25110	85	170
DAF-100	22'-11"	6'-2"	5'-7"	4'-4"	3'-11"	2'-9"	1090	110	6"	6"	4"	3"	6100	29000	100	200
DAF-120	24'-3"	6'-7"	6'-7"	4'-4"	5'-1"	2'-2"	1160	175	6"	6"	4"	4"	10600	50000	120	250
DAF-150	27'-3"	7'-2"	6'-10"	4'-4"	5'-1"	2'-2"	1300	205	6"	6"	4"	4"	12200	74000	150	300
DAF-180	28'-3"	8'-2"	8'-0"	5'-6"	6'-1"	2'-0"	1435	280	8"	8"	4"	4"	14000	92000	180	360
DAF-200	31'-1"	8'-2"	8'-0"	5'-6"	6'-1"	2'-0"	1500	315	10"	10"	4"	4"	15100	100600	200	400
DAF-250	33'-1"	9'-0"	8'-5"	6'-0"	6'-4"	1'-8"	1580	360	10"	10"	4"	4"	18200	129870	250	500
DAF-300	36'-0"	9'-0"	8'-5"	6'-0"	6'-4"	1'-8"	1660	400	12"	12"	4"	4"	20800	166000	300	600
DAF-350	42'-0"	10'-4"	9'-0"	6'-2"	7'-2"	1'-8"	1740	450	12"	12"	4"	4"	22300	175000	350	700
DAF-400	48'-0"	10'-4"	9'-0"	6'-2"	7'-2"	1'-6"	1900	530	12"	12"	4"	4"	25350	225000	400	800
DAF-450	55'-0"	10'-4"	9'-6"	6'-2"	7'-2"	1'-6"	2450	620	14"	14"	4"	4"	29000	240500	450	900
DAF-550	59'-0"	11'-0"	9'-6"	6'-6"	7'-2"	1'-6"	2900	695	14"	14"	4"	4"	39700	268000	550	1100
DAF-600	62'-0"	11'-4"	9'-8"	6'-6"	8'-0"	1'-6"	3735	750	14"	14"	4"	4"	46000	295000	600	1500

Figura 44: Modelo de DAF seleccionado (Fuente:

<https://www.panamenv.com/wp-content/uploads/2019/07/DAF-DISSOLVED-AIR-FLOTATIO N.pdf>)

Se observa entonces que las dimensiones finalmente son **3 m** de altura, **3,45 m** de ancho y **18,85 m** de largo.

Cabe mencionar que, la unidad DAF también se encuentra cubierta para evitar liberación a la atmósfera de gases contaminantes.

Una vez obtenido el dimensionamiento de la cámara de flotación, se debe calcular la cámara de presurización.

7.3.2. Cámara de presurización

Para realizar este dimensionamiento se adoptan otros valores obtenidos de la bibliografía. En este caso, se utilizaron los valores brindados por la cátedra de Procesos industriales en 2018.

Tabla 11: Valores adoptados para el dimensionamiento de la cámara de presurización

Parámetro	Rango bibliográfico	Valor adoptado
Presión de saturación (atm)	2,5 a 5	5
TRH (min)	2 a 5	2
Velocidad de aplicación superficial (m ³ /m ² *día)	1000 a 2000	1500

Se calcula el volumen de esta cámara usando la ecuación 18 pero colocando el TRH adoptado en la tabla 11 y el caudal recirculado de 1,17 m³/min (308 GPM). El mismo es de **2,34 m³**.

Con este predimensionamiento de la cámara de presurización, se selecciona uno de los modelos de recirculación provistos por PAE. Tomando la tabla del texto de Diaz Huertas (Figura 45), obtenido a su vez de PAE, se determinan los componentes del sistema de presurización del separador por flotación de aire, como son: bomba centrífuga, compresor y el tanque (cámara) de presurización.

Pressurization System Components									
Pump Head	Flow GPM	Pump Data		Compressor Data		Retention Tank			Back Pressure Valve Size
		HP	RPM	HP @ 1750 RPM	Capacity SCFM @ 100 PSIG	Diameter	Height	Clearance Dimension	
75 PSIG 174 FL.	50	10	3500	1	1.46	1'6"	8'0"	8'7.5"	2
	100	10		1	2.92	1'6"	8'0"	8'7.5"	2
	150	15		1.5	4.38	2'0"	9'3"	10'2"	3
	200	20		2	5.84	2'0"	9'3"	10'2"	3
	300	25		3	8.76	2'6"	9'6"	10'8.5"	4
	500	40	1800	5	14.60	3'0"	10'9"	11'11.5"	6
	650	50		5	18.90	3'6"	11'0"	12'3.75"	6
	800	60		7.5	23.36	4'0"	11'3"	12'6.75"	8
	1000	75		10	29.20	4'6"	11'6"	13'6.3125"	8
	1200	100		10	35.69	5'0"	11'9"	14'1.375"	10
	1500	100		15	43.90	5'6"	12'0"	14'4.375"	10
	1750	125		15	51.10	6'0"	12'3"	14'10.75"	12
	2000	125		15	58.04	6'6"	12'6"	15'1.375"	12
	2400	150		20	70.08	7'0"	12'9"	15'4.375"	12

Figura 45: Componentes del sistema de presurización (Fuente: Diaz Huertas, 2013, PAE)

Como el flujo de recirculación es de 308 GPM se selecciona el modelo de 300 GPM que corresponde al modelo RSS-42300 de PAE (se puede observar más datos en la figura 100 del anexo). Los componentes a utilizar son los siguientes:

Una bomba de:

- Flujo de recirculación: 300 GPM
- Potencia: 25 HP
- Presión de descarga: 75 psig
- 3500 RPM

Un compresor de:

- Q. compresor: 8,76 ft³std/min
- Potencia del compresor: 3 HP
- 1750 RPM
- Tipo: reciprocante
- Presión de descarga: 100 psig

Un tanque de retención o cámara de presurización de:

- Diámetro de tanque: **0,76 m**
- Altura: **2,9 m**
- Espacio mínimo: **3,26 m**

7.3.3. Adición de coagulantes y floculantes

Como se mencionó anteriormente, para asistir a la remoción de partículas coloidales muchas veces es necesario coagulación química o floculación o una combinación de ambas. Los procesos químicos rompen las emulsiones (los coagulantes) y promueven el agregado de los sólidos suspendidos para que sean lo suficientemente grandes para asentarse y ser removidos (los floculantes) (IPIECA, 2010).

Según Eckenfelder, en la industria petrolera se utilizan alumbres para coagular en concentraciones de entre 100 y 300 ppm y los polielectrolitos pueden ser agregados ocasionalmente con concentraciones entre 1 y 5 ppm. Existen casos donde a veces el coagulante solo o el floculante solo puede ser más eficiente que la combinación de ambos por lo que es necesario realizar estos ensayos en el laboratorio. Como bien se menciona en el libro de Metcalf y Eddy, es clave hacer un ensayo de Jar-Test para determinar la

dosificación de coagulantes y floculantes. Lamentablemente, ya se mencionó que estos ensayos no pudieron ser realizados por lo que se determinará la dosificación de coagulante/floculante mediante recopilación bibliográfica. La bibliografía utilizada para esto es el texto de Nacheva (Nacheva, 2011) donde se desarrollan estos estudios en gran profundidad para el efluente de una refinería con características similares a la de este proyecto.

En este texto, se analiza la desestabilización de emulsiones de agua-aceite a través del ensayo de Jar-Test en un equipamiento Philips y Bird PB 700. Se analizan distintos coagulantes minerales, polímeros y sus combinaciones en el efluente luego de pasar por los separadores API. Los coagulantes ensayados fueron: sulfato de aluminio (SAS), cloruro de polialuminio (PAX-XL19, PAX-260XLS, PAX-16S, PAX-XL60S), cloruro férrico (PIX-111), sulfato férrico (PIX-145 and Ferrix-3). Los polímeros aniónicos analizados fueron: OPTOFLOC A-1638 y AE-1488 (alto peso molecular y alta densidad de carga), SUPERFLOC A-100 HMW (alto peso molecular y moderada densidad de carga) y PHENOLPOL A-305 (alto peso molecular y baja densidad de carga). Mientras que los polímeros catiónicos utilizados fueron: SUPEFLOC C-1288, C-1392, C-1781 y LACKFLOC-C-5100 (alto peso molecular y alta densidad de carga); SUPERFLOC C-498 (moderado peso molecular y alta densidad de carga); ECOFLOC (alto peso molecular y moderada densidad de carga) (Nacheva, 2011). Los polímeros fueron testeados combinados con coagulantes. También se analizó el efecto individual de los coagulantes y de los polímeros catiónicos.

Como en el caso de este proyecto, el contaminante que más costaría ser removido al ser la normativa muy estricta para este último, son los sólidos suspendidos totales (sólidos sedimentables), para la selección de coagulante/floculante o sólo floculante se analizará la remoción sobre todo de este contaminante.

Se puede concluir a partir del texto que, la desestabilización de la emulsión se obtiene de manera satisfactoria usando combinaciones de coagulantes y polímeros y también aplicando sólo polímeros catiónicos de alto peso molecular. Como las partículas de aceite están cargadas negativamente, la mejor performance de los polímeros catiónicos se puede atribuir al aumento de la carga catiónica añadida al efluente aceitoso. Esto último potencia la reducción del potencial zeta y mejora la desestabilización de la emulsión agua-aceite. Los polímeros aniónicos con los coagulantes sólo poseen efecto floculante (Nacheva, 2011).

Además, la combinación de los coagulantes con los polímeros catiónicos tuvo resultados similares a sólo los polímeros catiónicos pero estos últimos generaron 50% menos de lodos en comparación con la combinación de ambos.

A partir de los resultados obtenidos por Nacheva, se decidió entonces aplicar 30 mg/L del floculante ECOFLOC ya que a esa concentración (a un pH óptimo de 7,4) se obtuvo una remoción del 95% en hidrocarburos, 86% en la DQO y 95% en los SST¹⁶. Para asegurarse de que esa remoción sea obtenida es importante que el pH sea óptimo y por esta razón, se deberá medir el mismo. De todas maneras, este floculante es operativo en un amplio rango de pH, entre 4 y 9.

Las características del polímero ECOFLOC C0125S son las siguientes:

Physical state	: Liquid.
Colour	: Yellowish [Light]
Odour	: Odourless
pH	: 2.2 to 3.2 [Conc. (% w/w): 100%]
Flash point	: Product does not support combustion.
Boiling point	: >100°C (>212°F)
Relative density	: 1.11 to 1.18
Solubility	: Easily soluble in the following materials: cold water and hot water.

Figura 46: Información sobre el polímero aniónico (Fuente:

https://portal.ecolab.com/servlet/PdfServlet?sid=900388-03&cntry=AU&langid=en-GB&langt ype=RFC1766LangCode&locale=en_AU&pdfname=ECOFLOC+C0125S)

Para la densidad del floculante se toma un promedio entre las densidades relativas. Es decir que se toma una densidad de 1,15 g/cm³.

Para determinar el caudal a inyectar se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{polímero líquido}} = \frac{C_p * Q}{\delta_{\text{polímero}}} \quad (Ec. 19)$$

Donde:

- C_p es la concentración de polímero a aplicar en mg/L

¹⁶ Se pueden observar estos resultados en la figura 101 y 102 del anexo.

- Q es el caudal de efluente a tratar teniendo en cuenta el caudal de la planta más el de recirculo en L/h
- δ_F es la densidad del floculante en mg/L

El caudal de polímero líquido a inyectar es entonces de **9,16 L/h**, siendo despreciable en el cálculo del DAF. A partir del caudal obtenido se selecciona la bomba dosificadora de floculante químico MW-15 L/hr-1MPa-25W marca HEPHIS. La misma va entre 5 y 15 L/h, consumiendo para 9,16 L/h una potencia de 20 W. La misma incluye válvula de pie y válvula antirretorno como se observa en la figura a continuación.



Figura 47: Bomba dosificadora de polímero seleccionada para este proyecto (Fuente: https://spanish.alibaba.com/product-detail/hephis-5-180lph-10-5bar-dosing-pump-elixir-motor-drive-double-layer-diaphragm-flocculant-alkali-fertilizer-dosing-metering-pump-6214085547-1.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.78bed6318F9hPy&s=p)

Con respecto a los valores de los contaminantes obtenidos luego de este tratamiento los mismos se pueden ver en la tabla a continuación.

Tabla 12: remoción de contaminantes en la unidad de DAF

Contaminante	Concentración de entrada (ppm)	Eficiencia de remoción (%)	Concentración de salida (ppm)
Hidrocarburos	377	95	18,85
Sólidos suspendidos	106,5	95	5,33
DQO	5.840	86	817,6
DBO	1.650	70	495

Se puede observar que, al final del tratamiento primario, ya se cumple el valor de HC.

7.4. Tratamiento secundario

Al igual que para el dimensionamiento del DAF, para el dimensionamiento del sistema de lodos activos es ideal hacer ensayos de laboratorio. En este caso para determinar la cinética de los microorganismos, sobre todo teniendo en cuenta que los mismos fueron diseñados por laboratorio. Como no se pudieron obtener estos ensayos aún para este proyecto, se tomarán valores de bibliografía. Para este diseño, se estudiaron los libros de Metcalf y Eddy pero sobre todo el de Eckenfelder y el texto de Ramalho.

Según Ramalho (Ramalho, NE), el consumo de sustrato a concentraciones bajas del mismo (correspondiente a valores de la DBO por debajo de los 500 mg/l como es el caso de este proyecto) sigue una cinética de primer orden. Esto significa que la velocidad de consumo es proporcional a la concentración de sustrato remanente. Por ello, la velocidad de consumo de sustrato es directamente proporcional a su concentración. Este tipo de cinética es normalmente el caso de un reactor biológico continuo en condiciones de mezcla completa que es el que se dimensionará para este proyecto.

En este tipo de reactores biológicos, con sedimentador secundario y reciclo, la aireación y la carga son uniformes en todos los puntos del tanque y se tienen los siguientes rangos de parámetros:

- MLSS (SSLM en español) está entre 3.000 y 6.000 ppm
- $\frac{Q_R}{Q}$ entre 0,25 y 1
- θ está entre 3 y 5 horas
- θ_c está entre 5 y 15 días
- la eficiencia de remoción es de entre 85 y 95%

Para el diseño, se asume un modelo de Monod con decaimiento para la velocidad de crecimiento de la biomasa y un estado estacionario. De esta manera la descomposición endógena es representada por la siguiente ecuación:

$$r'_g = \frac{\mu_{max} * x * s}{K_s + s} - k_D * x = - Y * r_{su} - k_D * x \quad (Ec. 20)$$

Donde:

- r'_g es la tasa neta de crecimiento bacteriano, masa sobre unidad de volumen
- μ_{max} es la máxima tasa de crecimiento específico en tiempo⁻¹
- s es la concentración de nutrientes o de sustrato en masa/unidad de volumen
- K_s es la constante de velocidad media o coeficiente de saturación media
- Y es el coeficiente de producción máxima medido durante un período finito de la fase de crecimiento exponencial, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, masa/masa
- r_{su} es la tasa de utilización de sustrato (masa/volumen tiempo)
- k_D es el coeficiente de descomposición endógena, tiempo⁻¹
- x es la concentración de células, masa/unidad de volumen

Se adoptan entonces los siguientes parámetros en función de rangos bibliográficos obtenidos del Eckenfelder y de Ramalho para refinerías (Figura 103 del anexo):

- $x = 4.500$ ppm
- $Y = 0,55$ kg MLVSS/Kg DBO₅ consumida
- $k_D = 0,13$ d⁻¹
- $\mu_{max} = 0,5$ d⁻¹
- $K_s = 35$ ppm

7.4.1. Reactor biológico

7.4.1.1. Dimensiones

Para poder dimensionar el reactor, en primer lugar, se presenta un esquema del sistema de lodos activos con sus variables.

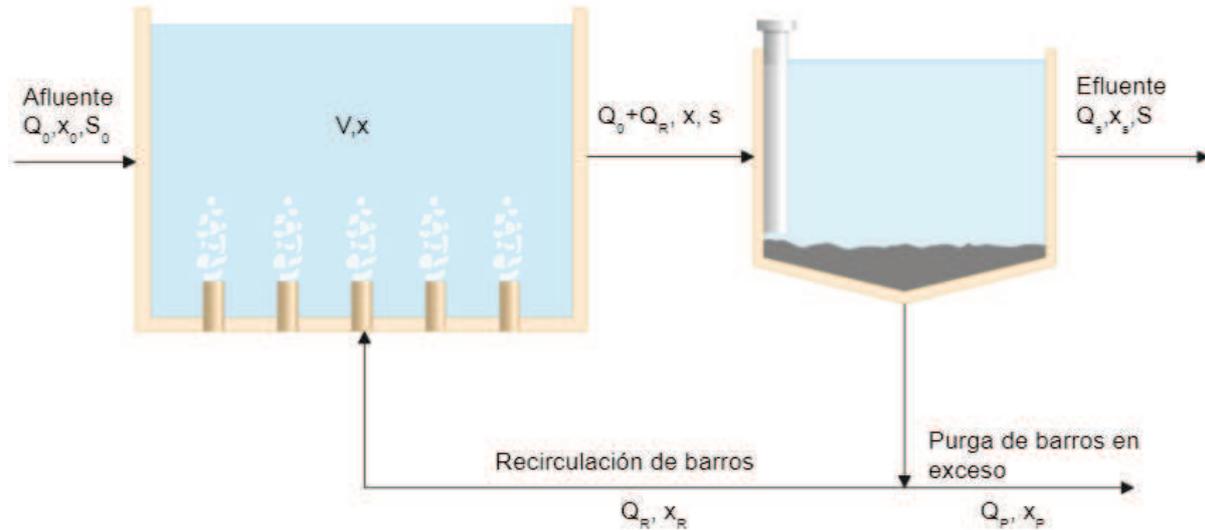


Figura 48: Esquema del sistema de lodos activos con sus variables que son definidas más adelante en el dimensionamiento. A la izquierda se observa el reactor aerobio y a la derecha el sedimentador secundario (Fuente: Elaboración propia)

En función de las variables presentadas en la figura 48, se realiza el siguiente balance de biomasa:

$$V * \frac{dx}{dt} = Q_0 * x_0 - Q_s * x_s - Q_p * x_p + V * r'_g \quad (Ec. 21)$$

Donde:

- V es el volumen del reactor
- Q_0 es el caudal de entrada del afluente
- Q_s es el caudal de salida del sedimentador
- Q_p es el caudal de purga del sistema
- x_p es la concentración de biomasa de la purga
- x_0 es la concentración de biomasa de entrada
- x_s es la concentración de biomasa de la salida

Se asume estado estacionario, x_0 despreciable frente $x_{SSVLM}(x)$ (concentración en el reactor) y que x_s tiende a cero. Entonces la ecuación 21 se simplifica a:

$$0 = - Q_p * x_p + V * \left(\frac{\mu_{max} * S}{k_s + S} * x - k_d * x \right) \quad (Ec. 22)$$

Se plantea también el balance de sustrato para conocer el volumen teniendo en cuenta que el estado es estacionario, que $s_s = s_p = s$ es el establecido en función de la normativa (50 ppm) y que la cinética es de primer orden y Monod con decaimiento.

$$V * \frac{ds}{dt} = Q_0 * s_0 - (Q_s * s_s + Q_p * s_p) + V * r_{su} \quad (Ec. 23)$$

Para cumplir con la normativa, se dimensiona con un margen de 20%, es decir que a la salida del reactor la DBO₅ sea de 40 ppm. Siendo la eficiencia de remoción del sistema de lodos activos de 92%.

Se sabe también que:

$$Q_s + Q_p = Q_0 \quad (Ec. 24)$$

Teniendo en cuenta las suposiciones en la ecuación 23 y reemplazando la ecuación 24 en la ecuación 25 se obtiene la ecuación 26.

$$0 = Q_0 * s_0 - s * (Q_s + Q_p) + V * x * \left(\frac{\mu_{max} * s}{Y * (k_s + s)} \right) \quad (Ec. 25)$$

$$V = \frac{Q_0 * (s_0 - s) * Y * (k_s + s)}{\mu_{max} * s * x} \quad (Ec. 26)$$

$$V = \frac{6720 * (495 - 40) * 0.55 * (35 + 40)}{0.5 * 40 * 4500} = 1.401,4 \text{ m}^3$$

El volumen es entonces de **1.401 m³**.

Obtenido el volumen, se prosigue a calcular el área del reactor (A). Para esto se adoptó una profundidad (h) de 5 m teniendo en cuenta que se utilizará como sistema de aireación difusores que poseen un mayor tirante de líquido permitiendo que la burbuja se expanda y, por lo tanto, siendo más eficiente a mayor profundidad. No se considera necesario semienterrar el reactor ya que es una profundidad promedio no siendo excesivamente grande.

Teniendo en cuenta la profundidad, entonces:

$$A(m^2) = \frac{V}{h} \quad (Ec. 27)$$

Se obtiene que el área es entonces de 280 m². A partir de la misma, se decide adoptar una forma cuadrada y dos reactores de lodos activos en paralelo. Es decir que a cada reactor de lodos activos, ingresará la mitad del caudal, 3.360 m³/día. Teniendo entonces cada reactor un volumen de **701 m³** y un área de **140 m²**. Se adopta para cada reactor un largo de **14 m** y un ancho de **10 m**. Para cada reactor se coloca un sedimentador secundario.

7.4.1.2 Tiempo de retención hidráulico (θ)

Para calcular el tiempo de retención hidráulico se utiliza el caudal de ingreso y el volumen del caudal

$$\theta = \frac{V}{Q_0} \text{ (Ec. 28)}$$

Tomando un valor de 701 m³ para el volumen y de 140 m³/hora para el caudal se obtiene un tiempo de retención hidráulico para cada reactor de **5 horas**. Se observa que el mismo está dentro del rango para este tipo de sistema.

7.4.1.3. Relación alimento/microorganismos (F/M)

Esta variable es muy utilizada para la operación y el control de los reactores de lodos activos. Si este valor es bajo significa que hay poco para degradar y muchos SSV y si es alto significa que hay mucho para degradar pero pocos SSV (Diseño de tratamiento de efluentes, 2020). Su valor se controla a través de la purga.

Se calcula gracias a la siguiente ecuación:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_0 * S_0}{x * V} \text{ (Ec. 29)}$$

En este caso el valor es de **0,53 d⁻¹** estando dentro del rango bibliográfico que va desde 0,2 a 0,6 d⁻¹.

7.4.1.4. Cálculo de caudales

7.4.1.4.1. Caudal de purga (Qp)

Para calcular el caudal de purga, se retoma la ecuación 22 y se adopta un x_p de 12.000 ppm obteniendo un valor de **36 m³/día** para cada reactor.

7.4.1.4.2. Caudal de salida del sedimentador (Q_s)

Para calcular el caudal de salida, se retoma la ecuación 24 y, como ya se conoce el caudal de purga, se obtiene restando este valor al caudal de entrada. Se obtiene un caudal de salida de **3.324 m³/día** para cada reactor.

7.4.1.4.3. Caudal de reciclo (Q_R)

Para calcular el caudal de reciclo se realiza un balance de masa pero tomando en cuenta sólo el sedimentador.

$$0 = (Q_0 + Q_R) * x - (Q_s * x_s + Q_p * x_p + Q_R * x_R) \quad (Ec. 30)$$

Despejando se obtiene entonces la ecuación 31:

$$\frac{Q_p * x_p - Q_0 * x}{x_R - x} = Q_R \quad (Ec. 31)$$

Se adopta una x_R igual a la x_p . Como se poseen todos los datos de la ecuación 31 el valor del caudal de reciclo para cada reactor es de **1.958 m³/día**.

Dando una recirculación de **0,58**, estando dentro de los rangos bibliográficos.

7.4.1.5 Tiempo de retención celular (θ_c)

Para calcular este valor se utiliza la siguiente ecuación:

$$\theta_c = \frac{V * x}{Q_p * x_p} \quad (Ec. 32)$$

Se obtiene un valor de **7,3 días** para cada reactor, estando dentro del rango bibliográfico.

7.4.1.6. Cálculo del requerimiento de oxígeno

Luego de obtener las dimensiones, se debe conocer el requerimiento de oxígeno del sistema. Para esto se calcula el requerimiento de oxígeno (RO) y el requerimiento de oxígeno estándar (SOR) teniendo en cuenta las condiciones ambientales del sitio.

$$RO \left(\frac{kgO_2}{d} \right) = \frac{Q (s_0 - s) / 1000 (g/kg)}{f} - 1.42 P_x \frac{Q (s_0 - s)}{1000 (g/kg)} \quad (Ec. 33)$$

Donde:

- Q es el caudal del reactor en m³/día
- S_0 y S son las concentraciones de DBO₅ en mg/L
- f es el factor de conversión DBO₅ a DBO_L = 0.65

- P_x es la producción de lodos

Se calcula la producción de lodos gracias a la ecuación 34.

$$P_x = \frac{Y}{(1+k_d*\theta_c)} \quad (Ec. 34)$$

La misma es de **0,28**.

Entonces, retomando la ecuación 33,

$$RO = 1.344 \frac{kg O_2}{d} = 56 \frac{kg O_2}{h}$$

A partir del RO (kg O₂/h) se calcula el SOR que es la capacidad de oxígeno transferida en condiciones normalizadas:

$$SOR \left(\frac{kg O_2}{h} \right) = \frac{RO}{\frac{(\beta * C_{wat} - C_L) * 1,024^{T-20} * \alpha}{C_s}} \quad (Ec. 35)$$

Donde:

- B es el factor de corrección por salinidad y tensión superficial (1)
- C_{wat} es la concentración de saturación OD para agua residual a T (°C) y altura dada (msnm)
- C_L es la concentración de OD en condiciones de funcionamiento (2 mg/L)
- C_s es la concentración de OD saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm (9.17 mg/L)
- T es la temperatura del volumen de agua (°C)
- α es el factor de conversión de transferencia de oxígeno para aguas residuales (0.8)

Para obtener el C_{wat} se debe multiplicar la solubilidad del oxígeno en ppm por el valor calibrado. Para obtener este valor, se sabe que la temperatura del líquido es de 37°C y se utilizó la tabla 13 a continuación:

Tabla 13: solubilidad del oxígeno en agua expuesta a agua con aire saturado a una presión de 1 atm

Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L
0	14.62	16	9.87	32	7.31
1	14.22	17	9.67	33	7.18
2	13.83	18	9.47	34	7.07
3	13.46	19	9.28	35	6.95
4	13.11	20	9.09	36	6.84
5	12.77	21	8.92	37	6.73
6	12.45	22	8.74	38	6.62
7	12.14	23	8.58	39	6.52
8	11.84	24	8.42	40	6.41
9	11.56	25	8.26	41	6.31
10	11.29	26	8.11	42	6.21
11	11.03	27	7.97	43	6.12
12	10.78	28	7.83	44	6.02
13	10.54	29	7.69	45	5.93
14	10.31	30	7.56	46	5.84
15	10.08	31	7.43	47	5.74

Se obtiene entonces que el valor de la solubilidad del oxígeno a esa temperatura es de 6,73 ppm.

A continuación, se obtiene el valor saturado de la siguiente tabla:

Tabla 14: Valores calibrados para distintas presiones atmosféricas y alturas

Pressure Inches Hg	mm Hg	kPa	Altitude Ft.	m	Calibration Value (%)
30.23	768	102.3	-276	-84	101
29.92	760	101.3	0	0	100
29.61	752	100.3	278	85	99
29.33	745	99.3	558	170	98
29.02	737	98.3	841	256	97
28.74	730	97.3	1126	343	96
28.43	722	96.3	1413	431	95
28.11	714	95.2	1703	519	94
27.83	707	94.2	1995	608	93
27.52	699	93.2	2290	698	92
27.24	692	92.2	2587	789	91
26.93	684	91.2	2887	880	90
26.61	676	90.2	3190	972	89
26.34	669	89.2		1066	88
26.02	661	88.2	3804	1160	87
25.75	654	87.1	4115	1254	86
25.43	646	86.1	4430	1350	85
25.12	638	85.1	4747	1447	84
24.84	631	84.1	5067	1544	83
24.53	623	83.1	5391	1643	82
24.25	616	82.1	5717	1743	81
23.94	608	81.1	6047	1843	80
23.62	600	80.0	6381	1945	79
23.35	593	79.0	6717	2047	78
23.03	585	78.0	7058	2151	77
22.76	578	77.0	7401	2256	76
22.44	570	76.0	7749	2362	75
22.13	562	75.0	8100	2469	74
21.85	555	74.0	8455	2577	73
21.54	547	73.0	8815	2687	72
21.26	540	71.9	9178	2797	71
20.94	532	70.9	9545	2909	70
20.63	524	69.9	9917	3023	69
20.35	517	68.9	10293	3137	68
20.04	509	67.9	10673	3253	67
19.76	502	66.9	11058	3371	66

Como la ubicación de la planta se encuentra a 5 m sobre el nivel del mar (obtenido de la figura 104 del anexo), el valor calibrado es de 100%, es decir de 1 ya que se aproxima a 0 m. El C_{wat} es entonces de 6,73 ppm.

El resto de los valores introducidos en la ecuación 35 son los siguientes:

- RO = 56 kg O₂/h
- B = 1
- $C_{\text{wat}} = 6,73$ ppm
- $C_1 = 2$ ppm ya que es un lodo activo
- $C_s = 9,17$ ppm
- T = 37°C
- $\alpha = 0,82$

El valor del **SOR** obtenido es de **78 kgO₂/h= 77.987 gO₂/h** para cada reactor.

7.4.1.7. Equipo de aireación

Para este proyecto se decidieron implementar sopladores con difusores REPICKY ya que poseen las siguientes ventajas en comparación con aireadores superficiales:

- Ahorro de energía eléctrica de hasta un 50%
- Gran aprovechamiento del espacio, ya que los reactores pueden instalarse a mayor profundidad (a mayor profundidad, mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno).
- Mayor flexibilidad ante demandas de oxígeno variables dada la posibilidad de incrementar o disminuir rápidamente el aire que ingresa a la cámara de aireación con intervención de un operador sobre los equipos o en forma automática.
- Mayor vida útil que la de los aireadores mecánicos convencionales al poder ubicar la sala de sopladores fuera del área de corrosión.
- Eliminación de spray contaminante en los alrededores de la planta.
- Eliminación de zonas muertas y malos olores gracias a los muy buenos patrones de mezcla que permite lograr parte del aire que no reacciona.
- Posibilidad de crecimiento modular tanto en los difusores como en los sopladores. Permite cubrir las necesidades de aire en forma confiable y con montos de inversión adecuados en cada etapa de crecimiento (Repicky, 2021).

Se colocarán en una grilla que se divide en módulos removibles con alimentación independiente de aire para cuando se deba vaciar algún reactor. Sus características técnicas se observan en la figura a continuación.

Difusor de burbuja fina | RG-300	
Rango de caudal:	2 a 8 Nm ³ /hora
Caudal de diseño:	5 Nm ³ /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 Nm ³ /hora 40 mbar para 5 Nm ³ /hora 70 mbar para 8 Nm ³ /hora
Densidad:	1 a 6 difusores/m ²
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O ₂ :	2,5 — 6 Kg. O ₂ /KWh

Figura 49: Difusores elegidos (Fuente:

<https://www.repicky.com.ar/difusores-de-membrana-de-burbuja-fina.html>

<https://repicky.com.ar/site/sistemas-de-aireacion/>)

Para comenzar el cálculo se comienza adoptando una distribución de difusores de 1 difusor por m². Como el área de cada reactor es de 140 m², la cantidad de difusores sería de 140.

Para calcular la cantidad de oxígeno que transferirá cada difusor a la profundidad del reactor, se utilizó el siguiente gráfico sabiendo que el caudal de diseño de cada difusor es de 5 Nm³/h según se observa en la figura 50:

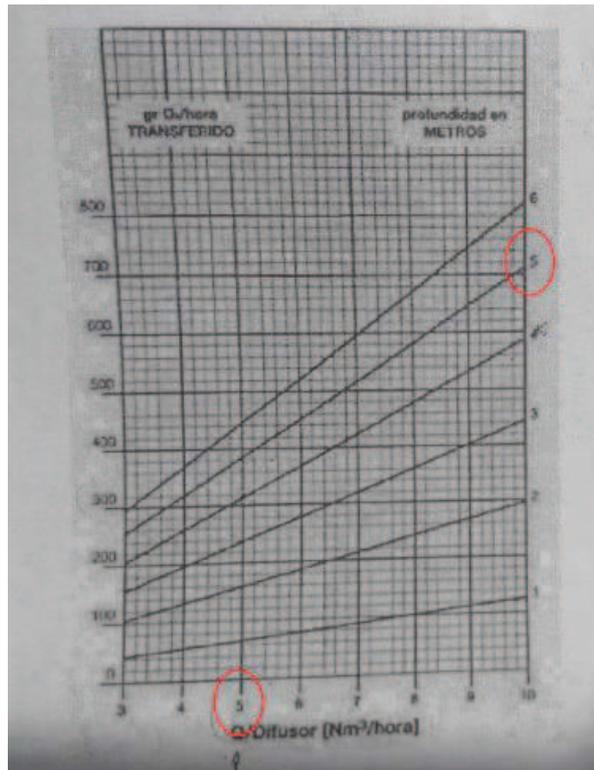


Figura 50: Gráfico que representa la capacidad de transferencia de oxígeno en condiciones estándar en función de la profundidad y del caudal de aire para un difusor por m² (Fuente: Diseño de efluentes, 2020)

A partir de la figura 50, se observa que la transferencia de cada difusor es de 380 gO₂/h. Por lo tanto, lo que otorgarán los difusores será de:

$$T = 380 \text{ gO}_2/\text{h} * 140 \text{ difusores} = 53.253 \text{ gO}_2/\text{h} \text{ (Ec. 36)}$$

Como este valor es menor al SOR, los difusores no otorgarían la cantidad de oxígeno necesaria, por lo que se necesita aumentar la densidad de difusores. Se adopta una nueva densidad de 1,7 difusores/m².

Gracias al siguiente gráfico (figura 51), se obtiene la transferencia de O₂ en % por metro de profundidad (SOTE) para distintas cantidades de difusores.

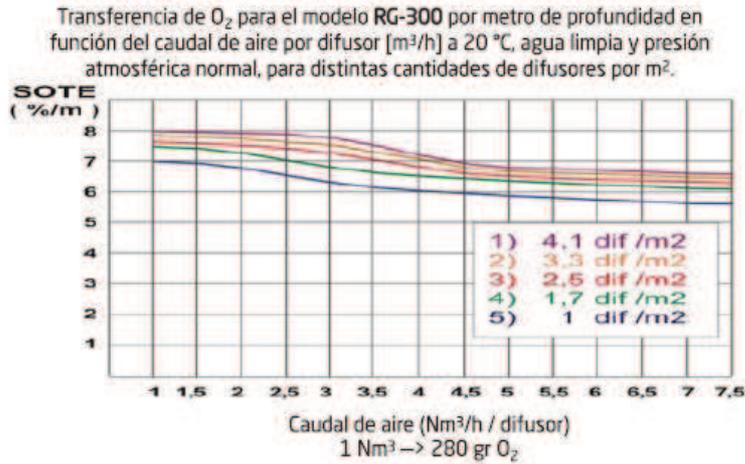


Figura 51: gráfico de transferencia de O₂ en % por metro de profundidad en función del caudal de aire (Fuente: Repicky)

Se obtiene entonces un SOTE de **6,5 %O₂/m**. Lo que para 5 metros de profundidad representa una T' de **0,325**.

A continuación, se calcula el caudal de oxígeno gracias a la ecuación 37.

$$Q_{\text{oxígeno}} = \frac{SOR}{T' \cdot h \cdot 1 \text{ Nm}^3} \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

- Q_{oxígeno} es el caudal de oxígeno en Nm³/h
- 1 Nm³ es 280 gO₂/Nm³

El caudal de oxígeno es entonces de **857 Nm³/h**.

Para obtener la cantidad de difusores total se debe dividir el caudal de oxígeno por el caudal de oxígeno de diseño de cada difusor.

$$n^{\circ} \text{ de difusores} = \frac{Q_{\text{oxígeno}}}{Q_{\text{diseño}}} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde Q_{diseño} corresponde a 5 Nm³/h por difusor.

Obteniendo entonces un total de **172 difusores** y una densidad por difusor de **1,22 difusores/m²**, obviamente para cada reactor.

Una vez se conoce la cantidad de difusores necesaria, se debe calcular el soplador acorde para brindarles la cantidad de oxígeno necesario. Para esto se debe calcular el caudal de

oxígeno necesario en m³/h std multiplicando Q_{oxígeno} por 1,0728. El Q_{oxígeno std} es de **919,4 m³/h std**.

Se decidió usar la misma marca de soplador que la de los difusores. Por esta razón, se utilizó el folleto técnico de la empresa Repicky.

Modelo	RPM	100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
		Q m ³ /h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP	Q m^{3}/h	P HP
R100	1450	29,6	0,4	23,1	0,5	18	0,7	13,7	0,9												
	2250	54	0,6	47,5	0,8	42,2	1,1	38,1	1,4	34,3	1,6	30,8	1,8								
	2900	74	0,7	67,3	1,1	62,2	1,4	57,9	1,6	54,1	2,0	50,6	2,3	47,4	2,7						
	4500	123	1,5	116	1,6	111	2,1	107	2,6	103	3,1	99	3,7	96	4,2						
R200	1450	63	0,6	52	0,9	43,3	1,3	35,9	1,6												
	2250	112	0,9	101	1,4	92,1	1,9	84,6	2,4	78,1	2,9	72,1	3,4								
	2900	152	1,2	140	1,8	132	2,4	124	3,1	118	3,8	112	4,5	106	5,1	101	5,7				
	4500	249	1,7	238	2,8	229	3,8	222	4,9	215	5,8	209	6,9	204	7,9						
R300	1450	89	0,6	80	1,1	65	1,5	56	1,9	48	2,4										
	2250	156	0,9	142	1,6	131	2,3	122	3,0	114	3,7	107	4,4	100	5,0						
	2900	210	1,2	196	2,0	185	3,0	176	3,9	168	4,8	161	5,5	154	6,5	148	7,5				
	4500	342	1,8	328	3,2	318	4,7	309	6,0	301	7,4	293	8,7	286	10,2	280	11,5				
R500	1450	142	1,0	132	1,6	112	2,3	101	3,0	91	3,6	82	4,3	74	4,9						
	2250	241	1,5	225	2,5	211	3,6	200	4,6	190	5,6	181	6,7	173	7,8						
	2900	322	1,9	306	3,3	292	4,6	281	5,9	271	7,3	262	8,6	254	10,0	246	11,3				
	4500	521	3,0	504	5,0	491	7,1	480	9,2	470	11,3	461	13,4	452	15,4	444	17,6	437	19,6		
R600	1450	185	1,2	158	2,1	138	3,0	120	3,9	105	4,9										
	2250	319	1,8	293	3,3	272	4,7	255	6,1	239	7,5	225	8,9	212	10,3						
	2900	429	2,4	402	4,2	382	6,0	364	7,9	349	9,7	335	11,4	321	13,3	309	15,1				
	4500	698	3,7	692	6,5	651	9,3	634	12,1	618	14,9	604	17,8	591	20,7						

Figura 52: Folleto técnico sopladores Repicky (Fuente: <https://repicky.com.ar/sopladores-caracteristicas.html>)

Como la altura de los reactores es de 5 m, se observa la columna de 500 ya que representa el delta de presión. A partir de este dato y el caudal de oxígeno necesario en (m³/h std), se obtiene que es necesario colocar dos sopladores **R500 a 4500 rpm** para generar un caudal de oxígeno de 940 m³/h std. En total se deben colocar 4, 2 para cada reactor y se colocarán 2 más como backup dando un total de **6 sopladores**.

A continuación, se muestran las dimensiones de cada uno de los reactores:

Tabla 15: Dimensiones de cada reactor de lodos activos

Dimensiones	Valor
Revanca (m)	0,5
Profundidad (m)	5,0
Altura total (m)	5,5
Largo (m)	14,0
Ancho (m)	10,0
Cantidad de difusores	172,0

7.4.2. Sedimentador secundario

Como se mencionó anteriormente, la sedimentación se emplea para remover los sólidos suspendidos. En este caso, para remover la biomasa generada en el sistema de tratamiento biológico. La sedimentación se clasifica en tres, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión: discreta, floculenta o zonal (Eckenfelder, 2000).

En el caso del sedimentador secundario de este proyecto, sería sedimentación zonal. Al igual que en la sedimentación floculenta, también intervienen partículas floculentas donde las mismas interactúan fuertemente entre sí tendiendo a aglomerarse y unirse, pero como la concentración de sólidos en suspensión es mayor a 500 ppm, se produce una gran interacción entre ellas. Por lo tanto, los sólidos en suspensión no se comportan como partículas aisladas, sino que actúan como una sola masa de sólidos. Es característico de la sedimentación del barro biológico en sedimentadores secundarios (Procesos industriales, 2018).

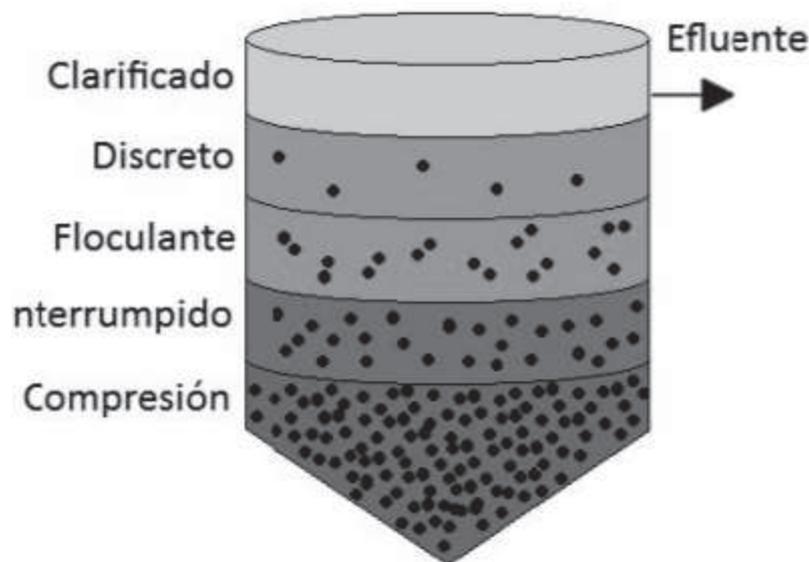


Figura 53: Sedimentación zonal (Contreras Barrera, 2010)

Como se observa en la figura 53, durante la sedimentación, las partículas floculan y se cohesionan para sedimentar en forma conjunta, generando múltiples interfaces al interior del sedimentador. El lodo a sedimentar, está compuesto principalmente por aglomeraciones de células de microorganismos que se caracterizan por tener una gran cantidad de agua y por ende, una densidad similar a ella. Por este motivo, la floculación y cohesión de las partículas, es vital para obtener el objetivo deseado, es decir, un efluente clarificado

prácticamente libre de SST por un lado y por el otro la concentración del licor en el precipitado (Contreras Barrera, 2010).

El barrio biológico presente en el fondo de estos sedimentadores posee una sedimentación por compresión o espesamiento porque la concentración ya es tan alta que se sedimenta por el mismo peso de los sólidos. Esto último también ocurre en los espesadores.

Las variables que afectan a este proceso son:

- corrientes de densidad térmica
- concentración
- acción del viento
- alteraciones en la entrada
- alteraciones en la salida

Es importante mencionar que existen distintas zonas dentro de un sedimentador. En primer lugar, está la zona de entrada donde los sólidos en suspensión se dispersan uniformemente a través de la sección transversal del sedimentador. Luego, la zona de sedimentación donde tiene lugar el proceso en sí. La zona de salida donde el líquido clarificado se colecta a través de toda la sección transversal y se transporta hacia el conducto de salida. Finalmente, la zona de barros donde se acumulan los sólidos separados durante el proceso (Procesos industriales, 2018). Estas zonas se observan en la figura siguiente:

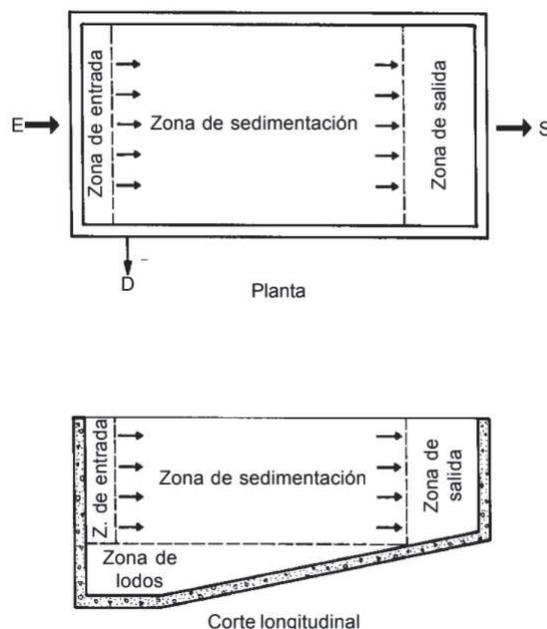


Figura 54: Zonas dentro de un sedimentador (Fuente: Yactayo, NE))

Los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares. Para este proyecto, se diseñará uno circular ya que, según Eckenfelder, suele brindar la performance óptima.

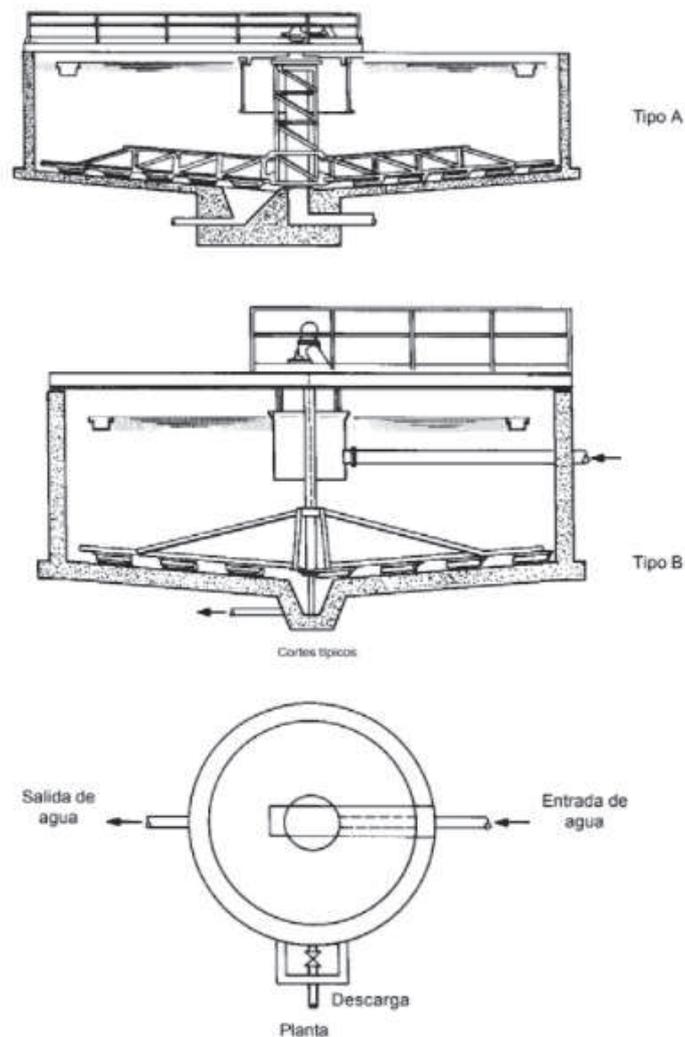


Figura 55: Sedimentadores o decantadores estáticos circulares (Fuente: Yactayo, NE)

7.4.2.1. Dimensionamiento sedimentador

7.4.2.1.1. Zona de sedimentación

Para dimensionar el sedimentador, se deberían tener idealmente ensayos de laboratorio para obtener la carga superficial y el tiempo de permanencia teórico. Como en este proyecto no se tuvo la posibilidad de realizar estos ensayos aún, se tomarán valores de bibliografía. Para esto se utilizan los libros de Eckenfelder, Metcalf y Eddy, ya mencionados en la bibliografía, y los apuntes de Procesos industriales.

Los criterios básicos que se usan para el diseño son la tasa superficial y la carga de sólidos, que se relacionan con la clarificación y el espesamiento de lodos, respectivamente.

La carga superficial o tasa de sedimentación es la carga por unidad de superficie, la cual representa la velocidad crítica de sedimentación (V_{sc}) de una partícula típica. Teóricamente, cualquier partícula con velocidad igual o mayor a la crítica será automáticamente removida. Esta velocidad de sedimentación (V_{sc}) debe ser determinada sobre la base de ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta el criterio de elegir una velocidad de sedimentación que permita conseguir un efluente de una calidad que no sobrecargue la unidad de filtración (Yactayo, NE).

Como ya se mencionó, los ensayos de laboratorio no se realizaron y se tomaron valores de bibliografía. Los valores de carga superficial para sedimentadores secundarios rondan entre los 8 y los 33 $m^3/m^2 \cdot día$ según se observa en la tabla a continuación.

Tabla 16: Tasa superficial para sedimentación secundaria (Fuente: Metcalf y Eddy)

Modalidad Lodos activos	Tasa superficial ($m^3/m^2 \cdot día$)	
	@Qmedio	@Qmáx
Lodos activos (excepto aireación extendida)	16-33	41-49
Aireación extendida	8-16	24-33

Para calcular esta carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_s = \frac{Q}{A} \quad (Ec. 39)$$

Donde:

- T_s es la carga superficial es $m^3/m^2 \cdot día$
- Q es el caudal del afluente al reactor en $m^3/día$ (sin considerar el caudal de retorno, ya que es parte del caudal de entrada y salida del sedimentador, y por ende se anula al sumarse y restarse del balance)
- A es el área horizontal del sedimentador en m^2

Para efectos de clarificación, es fundamental que el sedimentador provea una tasa superficial menor a la velocidad de sedimentación del licor mezclado; es decir, que la carga hidráulica por unidad de área no exceda la velocidad de sedimentación del conjunto de partículas (flocs) de menor sedimentabilidad (Contreras Barrera, 2010).

Por otro lado, es fundamental también cumplir con los rangos de la carga de sólidos o carga orgánica o carga superficial de sólidos que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{(Q+Q_R)*SSLM}{A*1000*24} \text{ (Ec. 40)}$$

Donde:

- C_s es la carga de sólidos en kg SST/m²*h
- Q es el caudal del afluente m³/día.
- Q_R es el caudal de recirculación en m³/día
- A es el área horizontal del sedimentador
- SSLM es la concentración de sólidos en el reactor en ppm

Los valores de carga de sólidos para sedimentadores secundarios rondan entre los 1 y los 6 kg/m²*h según se observa en la tabla a continuación.

Tabla 17: Carga de sólidos para el sedimentador secundario. (Fuente: Metcalf&Eddy, 2003)

Modalidad Lodos activos	Carga sólidos (kg/m ² *h)	
	@Qmedio	@Qmáx
Lodos activos (excepto aireación extendida)	3,9-5,9	9,8
Aireación extendida	1-4,9	6,8

Por otro lado, es importante tener en cuenta el tiempo teórico de permanencia (t_p). El mismo corresponde al tiempo en el cual la partícula, que se mueve a la velocidad crítica, llega al fondo. Dicho parámetro puede determinarse según la ecuación 41 a continuación:

$$t_p = \frac{V}{Q} \text{ (Ec. 41)}$$

Donde:

- V corresponde al volumen del decantador en m³
- Q al caudal del afluente en m³/h

El mismo debe estar entre 2 y 4 horas para sedimentadores secundarios.

Para determinar la profundidad del sedimentador, al igual que para la tasa superficial y la carga de sólidos, se tienen valores típicos que se pueden encontrar en la literatura. En

Metcalf&Eddy (2003) se recomiendan valores entre 3 y 6 metros aunque se recomienda principalmente entre 3,5 y 4,5 m. Por otro lado, en Manual of Practice (2005) recomienda valores que dependen del diámetro del sedimentador, los cuales se muestran en la Tabla 18 (Contrera Barreras, 2010).

Tabla 18: Profundidad del sedimentador (Fuente: Manual of Practice N° FD-8, 2005)

Diámetro (m)	Profundidad desde la superficie del agua (m)	
	Mínima	Recomendada
< 12	3	3,7
12 - 21	3,3	3,7
21 - 30	3,7	4
30 - 43	4	4,3
> 43	4,3	4,6

Como hay dos reactores biológicos en paralelo, se propone un tanque de sedimentación para cada reactor. Luego ambos se unirán para ir al tratamiento terciario. Por esta razón habrá dos tanques de sedimentación de igual dimensiones. A continuación, se dimensionará uno de los tanques de sedimentación. El otro será igual.

Entonces, el tanque de sedimentación es alimentado por el caudal medio de efluente tratado por el reactor biológico. Este último corresponde a 3.360 m³/día. Adoptando un diámetro de **14,7 metros** se prosigue a calcular el área horizontal del sedimentador sabiendo que él mismo es circular según la siguiente ecuación:

$$A = \Pi * R^2 \text{ (Ec. 42)}$$

Donde:

- A es el área transversal del sedimentador en m²
- R es el radio del sedimentador en m

Se obtiene un área de **169,72 m²**. Gracias a ésta se calcula la carga superficial y la carga de sólidos para verificar que las mismas estén dentro de los rangos bibliográficos. Según la ecuación 39, se obtiene un valor de carga superficial **19,8 m³/m²*día** estando dentro del rango. Según la ecuación 40, se obtiene un valor de carga de sólidos de **5,88 kg SST/m²*h**, estando también dentro de los rangos.

A continuación, se adopta una altura (h) de **3,3 metros** teniendo en cuenta cumplir el rango de la tabla 18. Luego, se calcula el volumen del sedimentador gracias a la siguiente ecuación:

$$V = A * h \text{ (Ec. 43)}$$

Obteniendo un volumen de **560 m³**. Gracias a la ecuación 41 se calcula el tiempo de permanencia, dando un valor de **4 horas**, estando dentro del rango bibliográfico.

En la tabla a continuación, se resumen los valores obtenidos para el dimensionamiento general del sedimentador.

Tabla 19: Dimensiones obtenidas para cada sedimentador secundario

Diámetro (m)	Área (m ²)	Altura (m)	Carga superficial (m ³ /m ² *dia)	Carga de sólidos (kg/m ² *h)	Tiempo de permanencia (h)
14,7	169,72	3,3	19,8	5,9	4

7.4.2.1.2. Zona de salida

Para la estructura de salida del efluente se elige un vertedero Thompson (también denominado Thomsen) en canaleta con el fin de asegurar una óptima salida de flujo e impedir la resuspensión de sólidos. El vertedero de Thompson consiste básicamente en una canaleta superior que recorre el perímetro del sedimentador con aberturas triangulares consecutivas (los triángulos que forman el vertedero corresponden a triángulos isósceles de ángulo 90°).

En primer lugar, se debe adoptar una velocidad de escurrimiento. Por tratarse de una planta con capacidad menor a 10.000 m³/día, el valor debe ser menor a 0,15 m/s. Por otro lado, se debe adoptar también un valor de caudal por metro lineal (q), que por bibliografía éste debe ser igual o menor a 0,003 m³/(m*s), y una altura de la canaleta (h_c).

Los valores adoptados para los parámetros mencionados pueden observarse a continuación:

Tabla 18: Parámetros adoptados para el cálculo de la zona de salida del sedimentador 2°

Parámetro	Valor adoptado
velocidad de escurrimiento (m/s)	0,05
caudal por metro lineal (m ³ /m*s)	0,003
altura canaleta (m)	1

Relacionando el caudal de diseño (Q) con la velocidad de escurrimiento de salida del fluido clarificado puede hallarse el área de la canaleta por la cual circulará el fluido (a) mediante:

$$a = \frac{Q}{v_c} \text{ (Ec. 44)}$$

El área de la canaleta es de **0,78 m²**.

A su vez, el ancho de la canaleta (w_c) se calcula según:

$$w_c = \frac{a}{h_c} \text{ (Ec. 45)}$$

Obteniendo un ancho de canaleta de **0,78 m**.

Por otro lado, se debe también adoptar la altura de vertedero cinética (h_v) que alcanza el efluente, la cual se relaciona con el caudal unitario que evacúa cada ranura mediante la siguiente expresión:

$$qu = 1,34 h_v^{2,47} \text{ (Ec. 46)}$$

Donde:

- el caudal unitario (qu) se encuentra en m³/s
- la altura cinética del vertedero (h_v) se encuentra en m

Adoptando una altura de vertedero cinética de 11 cm (la misma debe estar entre 7 y 15 cm) se obtiene un caudal unitario de **0,0057 m³/s**.

En cuanto a la longitud del vertedero (L), que corresponde a la suma de los anchos de todas las aberturas que componen la canaleta, éste corresponde a:

$$L = \frac{Q}{q} \text{ (Ec. 47)}$$

Gracias a la ecuación 47, se obtiene una longitud de vertedero de **13 m**. Como la longitud total del sedimentador es de **46,18 m** (obtenida multiplicando π por el diámetro del mismo), se obtiene que la longitud del vertedero es menor a un tercio de la longitud del sedimentador, siendo efectivo el uso de vertederos Thompson.

Para calcular el ancho de las aberturas (w) se utiliza la siguiente ecuación:

$$w = 2 * h_v * tg\left(\frac{90^\circ}{2}\right) \text{ (Ec. 49)}$$

Se obtiene un ancho de vertedero de **0,22 m**.

Por consiguiente, el número de vertederos ($n^\circ v$) se define según la siguiente ecuación:

$$n^\circ v = \frac{L}{w} \text{ (Ec. 50)}$$

Se obtienen un total de **59 vertederos**.

Cabe aclarar que, a cada vertedero se le suma una revancha de 5 cm. Al ser un revancha de manera vertical, como se observa en la figura 60, las dimensiones de los vertederos no se ven modificadas ya que se mantiene el mismo caudal unitario y longitud de los mismos.

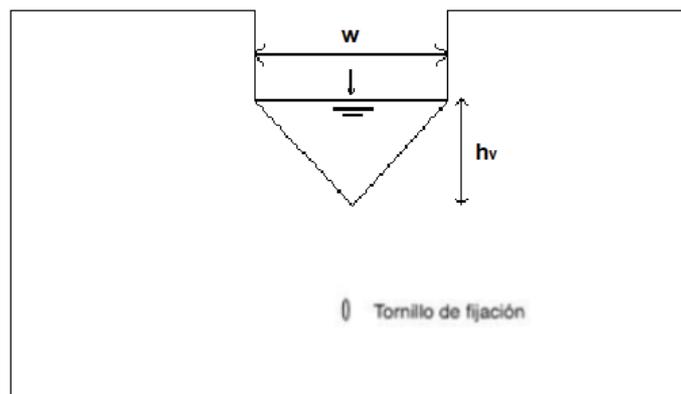


Figura 56: Vertedero tipo Thompson con su correspondiente revancha, el ángulo del vertedero es de 90° y la revancha de 5 cm (Fuente: Elaboración propia)

Se calcula la distancia total entre vertederos (d) según:

$$d = P - L \text{ (Ec. 52)}$$

Donde:

- P es el perímetro del sedimentador

De la ecuación 52, se obtiene una distancia de **33,21 m**.

Y, finalmente, se calcula la separación de vertederos (s) según:

$$s = \frac{d}{n^{\circ}v} \text{ (Ec. 53)}$$

Obteniendo un valor de separación entre vertederos de **0,56 m**.

Tabla 20: Parámetros teniendo en cuenta una altura de revancha seca de vertedero de 0,05 m

Parámetro	Valor real obtenido
longitud vertedero (m)	12,96
ancho abertura (m)	0,22
distancia total vertedero (m)	33,22
separación entre vertederos (m)	0,56
número de vertederos	59
caudal unitario (m ³ /s)	0,0057
altura del vertedero (m)	0,11
ancho canaleta (m)	0,78
área canaleta (m ²)	0,78
altura canaleta (m)	1,00
revancha (m)	0,05

Cabe mencionar que, como el ancho de la canaleta es de 0,78 m, el diámetro total del sedimentador teniendo en cuenta la canaleta es de **16,26 m**.

7.4.2.1.3. Zona de barros

En cuanto a la zona de lodos o barros, se determina que el sedimentador contará con un barredor al final de la tolva donde escurrirán los lodos. Se adopta un ángulo entre la pared inclinada y su base (α) de 8° para que se permita un correcto escurrimiento de los lodos hacia el centro del sedimentador. La altura de la tolva debe ubicarse en el primer tercio del diámetro del decantador. En la parte inferior de esta tolva, se debe prever una cañería de desagüe para la evacuación de los lodos, que deben ser removidos cada no más de 15 días para evitar su putrefacción. Esta cañería tiene una sección de descarga mínima que se calcula según la siguiente ecuación:

$$S_{dp} = \frac{A_{dp}}{4850 * t_{de}} * H_u^{1/2} \quad (Ec. 54)$$

Donde:

- S_{dp} corresponde a la sección de la compuerta de desagüe en m^2
- A_{dp} es el área del sedimentador en planta en m^2
- t_{de} es el tiempo de descarga en horas (se recomienda menor a 6 horas)
- H_u es la profundidad útil del sedimentador en m

Como ENOHSa recomienda que el tiempo de descarga sea menor o igual a 2 horas, se adopta un tiempo de descarga de 1 hora.

A partir de la ecuación 54, se obtiene una sección de compuerta de **0,064 m^2** . Es decir un diámetro de compuerta de **28 cm**.

La altura de la tolva se calcula tomando un tercio de la altura de sedimentación obteniendo una altura de **1,1 m**. La altura total del sedimentador corresponde entonces a **4,45 m**.

7.4.2.1.4. Barredor

Para este sedimentador, se propone instalar un barredor de lodos de accionamiento central con entrada central, salida circundante y descarga central de lodos. Se utiliza principalmente para la descarga de lodos de clarificadores, especialmente para proyectos de tratamiento de aguas residuales industriales como es el caso de este proyecto.

Según la ficha técnica obtenida de los barredores Jorsun® se propone el modelo ZXG15. Sus características técnicas se pueden observar en la imagen a continuación.

Model	Clarifier diameter D	Clarifier depth H	Peripheral speed	Drive speed	Flow tube diameter	Standard torque	Reducer type
	(m)	(m)	m/min	(KW)	(m)	N.m	
ZXG3	3	2.5 ~ 3.5	2.1	0.18/0.55 (TECO/ABB)	0.5	370	Direct cycloid
ZXG4	4	2.8 ~ 4.0	2.4		0.6	600	
ZXG5	5	2.8 ~ 4.0	2.3		0.7	1100	
ZXG6	6	2.8 ~ 4.0	2.2	0.25/0.55 (TECO/ABB)	0.8	1500	
ZXG7	7	3.0 ~ 4.0	1.7		1.0	2000	
ZXG8	8	3.0 ~ 4.0	1.8		1.1	2640	
ZXG9	9	3.0 ~ 4.0	1.8		1.2	3200	
ZXG10	10	3.0 ~ 4.0	1.6	0.55/0.55 (TECO/ABB)	1.4	4000	
ZXG11	11	3.0 ~ 4.0	1.6		1.5	4800	
ZXG12	12	3.0 ~ 4.0	1.7		1.7	5750	
ZXG13	13	3.0 ~ 4.0	1.7		1.8	6800	
ZXG14	14	3.0 ~ 4.0	1.6	0.75/0.75 (TECO/ABB)	1.9	7900	
ZXG15	15	3.0 ~ 4.0	1.8		2.1	9100	
ZXG16	16	3.0 ~ 4.0	1.7		2.2	10300	
ZXG17	17	3.0 ~ 4.0	1.7		2.4	11700	
ZXG18	18	3.0 ~ 4.0	1.7	0.75/0.75 (TECO/ABB)	2.5	13000	
ZXG19	19	3.0 ~ 4.0	1.6		2.6	14600	
ZXG20	20	3.0 ~ 4.0	1.7		2.8	16200	

Figura 57: Ficha técnica del barredor seleccionado (Fuente: <http://www.jorsun.com/ZXGSludgeScraper--pds41.html>)

7.4.3. Remoción del sistema de lodos activos

Tabla 21: Remoción de los contaminantes en el sistema de lodos activos

Contaminante	Concentración de entrada (ppm)	Eficiencia de remoción (%)	Concentración de salida (ppm)
DBO ₅	495,00	92	40,00
Sólidos suspendidos	5,33	85	0,78
DQO	817,60	90	81,76
HC	18,85	85	2,80
Fenol	39,20	99	0,39
Sulfuro	4,20	97	0,13
Nitrógeno	37,70	70	11,31

A partir de la tabla 21, se puede observar que todos los valores que antes no cumplían con la normativa a la salida del tratamiento secundario la cumplen. Se puede concluir que el tren de tratamiento seleccionado es efectivo ya que permite el vuelco del efluente cumpliendo con la ley sin dañar al medio ambiente.

Cabe mencionar que tanto el pH como la temperatura, el cloro libre, los sólidos sedimentables en menos de 10 minutos y el fósforo siguen cumpliendo con la normativa al salir del tratamiento secundario.

7.5. Cámara de cloración

Como se mencionó anteriormente, se coloca una cámara de cloración para asegurarse que ningún patógeno llegue al conducto pluvial al ser muy estricta la normativa en este punto. La misma será laberíntica para aumentar el tiempo de residencia y aumentar así el tiempo de contacto entre el efluente y el agente desinfectante, en este caso cloro. Por cuestiones de seguridad, se seleccionó como especie de cloro, el hipoclorito de sodio (NaClO).

Se parte entonces de un valor de 4.900 NMP/100 mL y se debe llegar a un valor de 1.600 NMP/100 mL tomando un margen de seguridad de 20% respecto a la normativa. El tiempo de residencia mínimo para que el tratamiento sea efectivo es de 20 min.

7.5.1. Concentración de cloro

A partir de la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2003) se obtiene la concentración de cloro necesaria a ser aplicada:

$$\frac{N}{N_0} = (1 + 0,23 * C_t * t)^{-3} \text{ (Ec. 55)}$$

Donde:

- N es el número de organismos vivos en el instante t
- N_0 es el número de organismos vivos en el instante inicial
- C_t es la concentración de desinfectante expresada como cloro residual, mg/l
- t es el tiempo de contacto, min

Se decidió adoptar un tiempo de permanencia de 25 min, obteniéndose una concentración de cloro residual de 0,08 mg/L de efluente.

A continuación se prosiguió a calcular la cantidad de cloro necesario a aplicar por día gracias a la ecuación 56.

$$C_{Cl} = Q * C_t \text{ (Ec. 56)}$$

Donde:

- C_{Cl} es la cantidad de cloro a aplicar por día en kg/día
- C_t es la concentración de desinfectante expresada como cloro residual en kg/m³
- Q es el caudal medio en m³/día

El valor de cloro a aplicar por día es de **0,53 kg/día**. Como el mismo se aplicará con una solución de hipoclorito de sodio el 10% se aplicará **5,3 L** de solución por día. Para realizar esto último se utiliza una bomba dosificadora modelo F-MA 1.5/12 marca WAITEC que dosifica 1,5 L/h, su potencia es de 30 W.



Figura 58: Bomba dosificadora de Cloro F-MA 1.5/12 (Fuente: <https://www.waitec.com.ar/productos/bomba-dosificadora-15-12/>)

7.5.2. Dimensionamiento de la cámara

Para que el efluente pueda estar en contacto el mayor tiempo posible se dimensiona teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Se utiliza un tanque laberíntico
- La relación largo-ancho del canal de cloración será aproximadamente 40:1 para evitar cortocircuitos como se observa en la figura a continuación

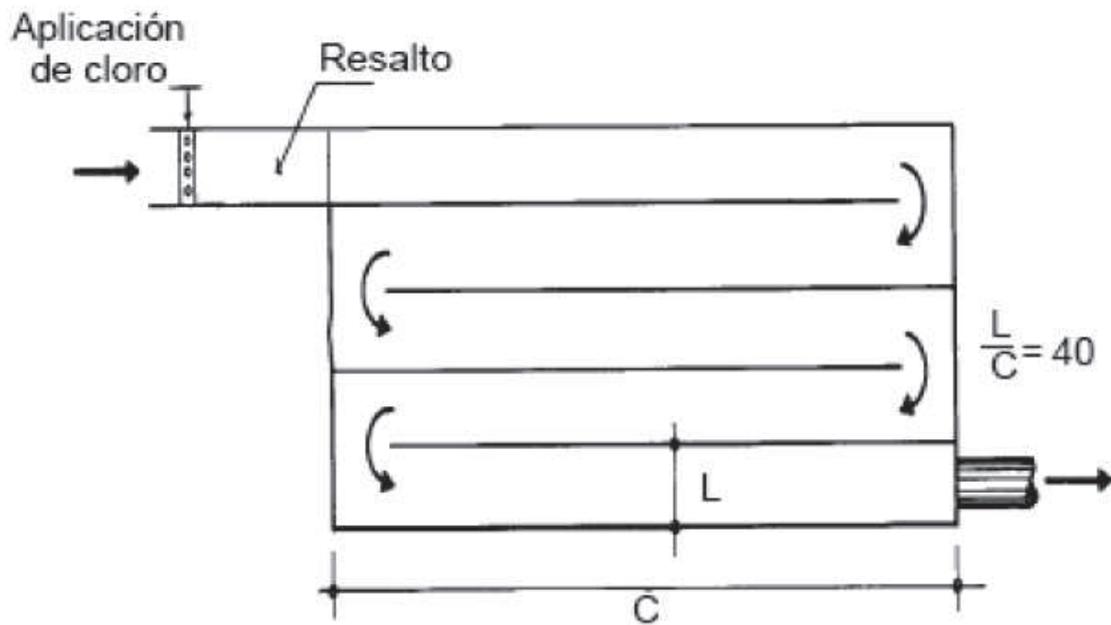


Figura 59: se observa que el largo de la cámara (C) sobre el ancho del canal (L) debe ser igual (o mayor) a 40

- El tiempo de residencia debe ser similar al nominal: Q/V

En primer lugar, se calcula un volumen aproximado de la cámara gracias al caudal medio en m^3/min y el tiempo de contacto adoptado según la siguiente ecuación:

$$V_{aprox} = Q * t \text{ (Ec. 57)}$$

El volumen aproximado de la cámara obtenido es de **117 m³**.

Luego, adoptando un ancho de canal (distancia entre tabiques) de **0,35 m**, se prosigue por respetar la relación largo-ancho del canal de mínimo 40:1 para calcular el largo. Se obtiene el largo de la cámara entonces a partir de la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{L}{40} \text{ (Ec. 58)}$$

Donde:

- A_c es el ancho del canal en m
- L es el largo de la cámara en m

El valor del largo de la cámara obtenido es de **14 m**. Suponiendo un espesor de los tabique (E_t) de **0,15 m**, se determina el número de tabiques (N_t) según la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{L - A_c}{A_c + E_t} \text{ (Ec. 59)}$$

Se obtiene un número de tabiques de **27,3** → **28**.

Luego, para obtener el volumen real de la cámara, se adopta un ancho de **3,6 m** y un alto de la cámara de **3 m**. Además, se adopta un largo de tabique de **2,7 m**. Gracias a estos valores se calcula el volumen ocupado por los tabiques a través de la siguiente ecuación.

$$V_t = E_t * L_t * N_t * H \text{ (Ec. 60)}$$

Donde:

- V_t es el volumen ocupado por los tabiques en m^3
- H es la altura de la cámara en m

Ya que los tabiques se deben distribuir de manera uniforme, el largo real de la cámara es de **14,35 m**. Luego, se prosigue a calcular el volumen de la cámara:

$$V = H * L * a \text{ (Ec. 61)}$$

Donde:

- a es el ancho de la cámara en m

Se obtiene entonces un volumen de **155 m^3** .

A partir de este valor, se obtiene el verdadero volumen de la cámara gracias a la siguiente ecuación

$$V_r = V - V_t \text{ (Ec. 62)}$$

El volumen real de la cámara es entonces de **121 m^3** . Se observa que es similar al valor aproximado que se había calculado anteriormente.

Se debe ahora calcular el tiempo de permanencia real del fluido en la cámara gracias a la siguiente ecuación:

$$t_{pr} = \frac{V_r}{Q} \text{ (Ec. 63)}$$

El tiempo real de permanencia es de **25,92 min**.

Tabla 22: Dimensiones de la cámara de cloración

Dimensión	Valor
Volumen cámara (m ³)	121
Altura (m)	3
Revancha (m)	0,3
Altura total (m)	3,3
Largo (m)	14,35
Ancho (m)	3,60
Ancho canal (m)	0,35
Espesor tabique (m)	0,10
Número de tabiques	28
Largo de tabiques (m)	2,70

7.6. Cámara de muestreo

Por último, es necesario colocar una cámara de muestreo para poder hacer las mediciones por la autoridad de aplicación y por la empresa misma también además de poder medir el caudal. De esta manera se verifica el cumplimiento de la normativa y se puede medir también el caudal de salida. Los dimensionamientos de la misma son impuestos por la resolución N°607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable en su anexo.

Al ser el caudal de salida en este caso muy cercano a los 280 m³/h, se toma las dimensiones de las cámaras para caudales de hasta 356 m³/h como se observa en la imagen a continuación.

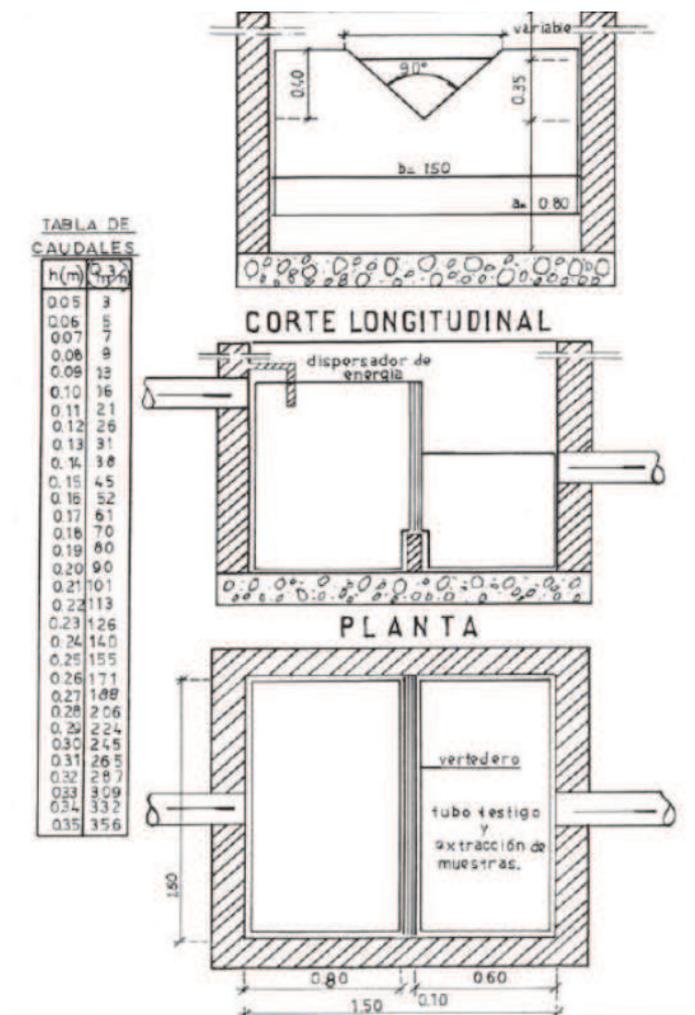


Figura 60: Cámara de extracción de muestra y medición de caudales y tubo testigo para caudales de hasta 356 m³/h (Fuente: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/195000-199999/195663/texact.htm>)

A partir de la misma, se obtiene la altura variable del vertedero de la cámara en función del caudal, en este caso de **0,32 m**.

Tabla 23: Dimensiones cámara de muestreo

Dimensión	Valor
Altura cámara (m)	1,20
Largo (m)	1,50
Ancho (m)	1,50
Altura vertedero (m)	0,40
Altura pelo de agua en vertedero (m)	0,32

Para disipar el exceso de energía se coloca un vertedero disipador de energía en forma de placa al ingreso de los mismos.

7.7. Lodos

Este proyecto no incluye el tratamiento de los lodos por lo que sólo se harán los cálculos necesarios para lo que sí se encuentra dentro del proyecto. Es decir, para calcular la necesidad energética y el costo de la disposición final de lodos. Para lograr esto último, es necesario conocer la cantidad de lodos generada en cada unidad. En el cálculo de los lodos generados en el separador API y el DAF, se utilizó el cálculo utilizado en la tesis de Patricia Hernando Marcos citada en la bibliografía.

En el API las grasas y aceites se sacan por superficie y se las envía al tanque de *Slops*, donde se las deja reposar, purgando por el fondo el agua que pueda decantar y enviando el sobrenadante a los tanques de crudo para reprocesar. Los sólidos suspendidos se sacan por el fondo del API y se envían a mezclar en un tanque con los procedentes de flotación. Por tanto, los SS del fondo del API serán los que entran menos los que salen del API (Hernando Marcos, 2011). Lo mismo ocurre con el DAF.

7.7.1. Lodos API

Como la concentración que ingresa al API de sólidos suspendidos es de 213 ppm y la concentración de salida es de 106,5 ppm el valor máximo de SST del fondo del API, generalmente se obtendrá una cantidad menor, es de 106,5 ppm.

Para calcular la cantidad de sólidos en el lodo generado (CL_{API}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$CL_{API} = SST \text{ fondo} * Q \text{ (Ec. 63)}$$

Donde:

- SST fondo es la concentración de sólidos suspendidos en el fondo en kg/m^3
- Q es el caudal que ingresa en total a ambas unidades API en m^3/h ($280 m^3/h$)

Se obtiene entonces una concentración de **29,82 kg/h**.

Considerando que la concentración de estos sólidos sea del 3%, al ser un barrio primario, se obtiene el caudal de lodos a extraer por hora según la siguiente ecuación:

$$Q_{API} = CL_{API} * \frac{100}{3*d} \text{ (Ec. 64)}$$

Donde:

- Q_{API} es el caudal de lodos a extraer en m^3/h
- CL_{API} kg/h
- d es la densidad del agua, 1.000 kg/m^3 . Se utiliza la densidad del agua porque el volumen del fango depende, principalmente, de su contenido de agua y solo ligeramente del carácter de la materia sólida. Al ser sólo el 3% y además al ser la densidad de los lodos entre 1.020 y 1.040 kg/m^3 , la diferencia es despreciable (FIUBA, NE)

El caudal de lodos a extraer de la unidad API es de **1 m^3/h** o de **23,85 $m^3/día$** . Al ser poca la cantidad de lodos a extraer se coloca una sólo bomba para extraer los lodos de ambos API.

7.7.2. Lodos DAF

Para calcular el caudal de lodos a extraer de la unidad DAF se realiza el mismo procedimiento que para la unidad API. La concentración de sólidos en el lodo también es del 3% aunque también posee químicos.

El valor de CL_{DAF} obtenido es de **3,22 kg/h** . El caudal de lodos a extraer del DAF es de **0,11 m^3/h** o de **2,58 $m^3/día$** .

7.7.3. Lodos proceso biológico

En el caso de los lodos biológicos, este caudal ya fue calculado en la sección 7.4.1.4.1. El mismo es de **36 $m^3/día$** por cada reactor y sedimentador secundario es decir que un total de **72 $m^3/día$** o **3 m^3/h** . La concentración de sólidos de los lodos activos es de 0,8% por lo que en $3 \text{ m}^3/h$ de lodos hay una cantidad de **24 kg/h** .

Todos los lodos generados en la PTEL pasan por una centrífuga de tres fases para disminuir su volumen al disponer de un producto en estado sólido y así disminuir los costos además de recuperar los HC restantes. En el caso particular de los lodos biológicos, antes de pasar por la centrífuga pasan por un sistema de espesamiento por gravedad. Luego del proceso de deshidratación, se obtiene un sólido con unos grados de sequedad variables entre el 20 y el 50%, dependiendo del tipo de proceso utilizado y del tipo de fangos tratados. En este caso, el porcentaje es del 30% (Sainz Sastre, 2007).

Al necesitar centrifugar un total de 4,11 m³/hora de lodos se selecciona una centrífuga GNSX-350 marca GN Separation. Los datos técnicos de la misma se observan a continuación:

Modelo	GNSX-350	GNSX-450	GNSX-520
Tipo	Continúa la separación de aceite / agua / sólidos		
Diám. De Tazón	350mm	450mm	520mm
Longitud de Tazón	1540mm	1800mm	2132mm
Capacidad	5 m ³ /h	10 m ³ /h	15m ³ /h
Max Veloc.	4000 RPM	3600 RPM	3000 RPM
Max Fuerza G	3136 G	3260 G	2620 G
Veloc. diferencial	2-25 RPM	5-25 RPM	5-25 RPM
Motor principal	22 KW	37 KW	55KW
Motor Secundario	5.5 KW	15 KW	15KW
Lubricación	Grasa / aceite	Bomba de aceite	
Tamaño de la bomba de aceite	N/A or 0.37KW	0.37 KW	0.37 KW
Material de Alimentación	Sólidos menos del 10% y tamaño de las partículas de menos de 2 mm		

Figura 61: Ficha técnica del modelo de centrífuga de tres fases a utilizar

Sabiendo que el porcentaje de humedad de los lodos una vez centrifugados es del 30% se pueden calcular los kg de lodos a disponer. Tomando como ejemplo el caso del DAF, se sabe que se tienen 3,22 kg de sólidos en 0,11 m³ de lodo. Como tiene un 97% de humedad inicialmente, es decir 0,1067 m³ de agua y ahora se tiene un 30% de lo que se tenía inicialmente, se pasan a tener 0,032 m³ de agua. Como 0,032 m³ de agua pesa 32 kg. Sumado a los 3,22 kg de sólidos, se generan un total de 35,22 kg por hora de lodos a disponer del DAF.

Haciendo este mismo razonamiento para el resto de las unidades generadores de lodos se obtiene un total de 30,55 toneladas de lodo a disponer por día o 30,55 m³ por día.

7.8. Conducciones

Los fluidos entre las distintas unidades de la planta se transportan en tuberías, las cuales tienen una sección transversal disponible en una variedad de tamaños, espesores de pared y materiales de construcción. Las mismas pueden estar hechas de diversos materiales, incluyendo metales y aleaciones, madera, cerámica, vidrio y plásticos variados. El cloruro de polivinilo, o PVC, es ampliamente utilizado como tubería en las conducciones de agua

residual (McCabe et. al, 2007). Por esta razón, y porque las temperaturas son menores a 50 °C además de ser un material muy resistente a la corrosión, en la PTEL se utilizarán tuberías de PVC.¹⁷

Para poder utilizar la menor cantidad de energía, los tramos donde sea posible se hará el transporte del fluido por conducciones por gravedad y serán lo más cortos posible para evitar pérdidas. En el caso de esta refinería las unidades se separan por una distancia aproximada de 2 metros. Como el diseño de las conducciones por gravedad o las conducciones por bombeo es distinto, es necesario conocer esto último para cada una de las unidades antes de hacer los cálculos.

Adicional a las tuberías, se utilizan distintos accesorios como codos, válvulas, compuertas, bridas, separadores de conductos, accesorios reductores/amplificadores... así como accesorios para evitar que el flujo circule en el sentido contrario. Los mismos varían en función de la disposición final de la planta y se deciden en el momento de la construcción de la PTEL. Por esta razón, no se contempla en el presente proyecto, una descripción detallada de los mismos aunque siempre se utilizan codos para los cambios de dirección y sentido de flujo y válvulas para controlar el pasaje o cerrado del fluido.

7.8.1. Conducciones por gravedad

Las conducciones por gravedad presentes en la PTEL son desde el equalizador al API, del DAF a los reactores biológicos, de estos últimos a los sedimentadores secundarios, de los sedimentadores a la cámara de cloración y desde esta última a la cámara de muestreo. Una vez el efluente llega a la cámara de muestreo, el mismo es volcado en el conducto pluvial.

Para calcular este tipo de conducciones, se utiliza la ecuación de Manning. La misma calcula la velocidad de flujo de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * i^{1/2} \text{ (Ec. 65)}$$

Donde:

- V es la velocidad de flujo en m/s
- n es el coeficiente de Manning que depende del material, al ser PVC el mismo es de entre 0,08 y 0,011, se adopta un valor de 0,09
- Rh es el radio hidráulico en m

¹⁷ Otro material que se está utilizando mucho en este último tiempo es el PRFV (poliéster reforzado de fibra de vidrio) por su alta resistencia a la corrosión y la humedad.

- i es la pendiente expresada en ‰, se adopta un valor de 3‰ por lo que en la fórmula se coloca 0,003

Una de las opciones para poder calcular esta ecuación es conociendo el radio hidráulico. El mismo se obtiene gracias al área mojada (A) y el perímetro mojado de la cañería (P_m). Estos valores se obtienen a su vez gracias a las siguientes ecuaciones:

$$Rh = \frac{A}{P_m} \text{ (Ec. 66)}$$

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen}\theta) * D^2 \text{ (Ec. 67)}$$

$$P_m = \frac{1}{2} * \theta * D \text{ (Ec. 68)}$$

Donde:

- θ es el ángulo de la superficie de la lámina hasta el centro del tubo en grados
- D es el diámetro de la cañería en m

Al reemplazar las ecuación 67 y 68 en la ecuación 66 se obtiene la siguiente relación:

$$Rh = \frac{1}{4} * \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) * D \text{ (Ec. 69)}$$

Estos parámetros se pueden observar con mayor claridad en la figura a continuación:

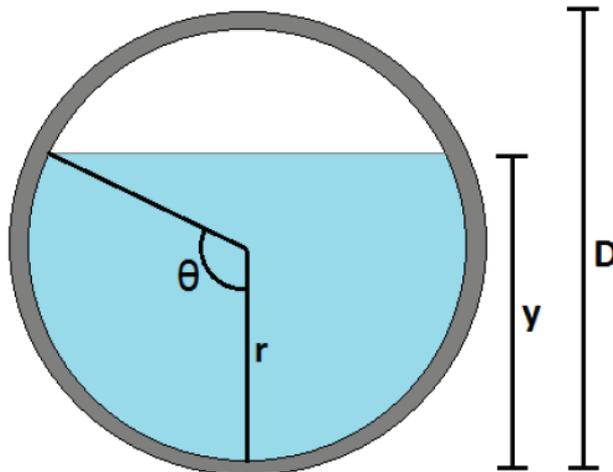


Figura 62: Tubería parcialmente llena (Fuente: Alonso, 2019)

Para conocer el ángulo (θ) de la altura de la lámina de agua se supone un porcentaje de llenado, es decir una relación entre el diámetro de la tubería y la altura de la lámina de agua

(y/D). Asumiendo que el porcentaje es 75%, el ángulo será de 120°. A partir de este valor, y retomando la ecuación 67, se obtiene la siguiente relación:

$$A = 0,6319 * D^2 \text{ (Ec. 70)}$$

Según ENOSHA, las velocidades máximas y mínimas del líquido deben ser tales que eviten la sedimentación del material eventualmente transportado y la erosión de las paredes de los conductos. Estas velocidades deben estar comprendidas entre 0,45 y 3 m/s (ENOHSA, NE). En este caso, se adopta una velocidad de 0,85 m/s. Con respecto a la pendiente, ENOHSA recomienda que la pendiente mínima cuando el aire circula en el sentido del escurrimiento del agua es de 3‰ (ENOHSA, NE). Por esta razón, se seleccionó esa pendiente para este caso.

A partir de la velocidad de circulación adoptada y el caudal de diseño de 280 m³/h (0,078 m³/s), se obtiene el área mojada.

$$A = \frac{Q}{V} \text{ (Ec. 71)}$$

Se obtiene un área de **0,09 m²**. Retomando la ecuación 70, y despejando D, se obtiene el diámetro interno de la tubería. El mismo es de 0,380 m o **380 mm**. En función de la Figura 105 del anexo, se selecciona un diámetro nominal normalizado de **400 mm** con un diámetro interno de **384 mm**. Este valor de diámetro es el que se utiliza para todas las conducciones a gravedad que fueron nombradas anteriormente.

Para el caso de las conducciones donde el caudal es de 140 m³/h, como es el caso del equalizador a los API, el diámetro nominal normalizado es de **280 mm**.

Para la recirculación del DAF, hay un tramo que posee un caudal de 351 m³/h, en este caso la cañería sería de un diámetro nominal de **450 mm**. Otro sector de la recirculación posee un tramo donde sólo circula el caudal recirculado aún sin presurizar, es decir 70 m³/h, en este caso el diámetro nominal es de **200 mm**.

7.8.2. Conducciones de impulsión o por bombeo

Las conducciones de impulsión que poseen una presión por las bombas presentes en la PTEL son las siguientes:

- De las unidades API al DAF

- Del DAF al sistema de lodos activos
- La recirculación del sistema de lodos activos
- La extracción de lodos del sistema de lodos activos (purga)
- La extracción de lodos en el DAF y el API
- Parte de la recirculación del sistema DAF

Para las conducciones a presión, se deben tener velocidad de flujo de entre 1 y 2 m/s según ENOHSA (ENOHSA, NE) y entre 1,4 y 2,4 m/s según McCabe (McCabe et. al, 2007). Se adopta entonces una velocidad de flujo de 2 m/s. Como los caudales para estos sistemas de impulsión varían, los diámetros también lo harán. Los resultados obtenidos para cada tramo se presentan en la tabla a continuación. Para hacer el cálculo se utilizaron las ecuaciones 70 y 71.

Los valores de diámetro para cada tramo de conducciones a impulsión entre las unidades se observan en la tabla a continuación:

Tabla 24: Diámetros de las conducciones a impulsión

Tramo de conducción	Caudal circulante (m ³ /s)	Velocidad de flujo (m/s)	Área mojada (m ²)	Diámetro (m)	Diámetro (mm)	Diámetro nominal (mm)
API a DAF y DAF a lodos activos	0,07778	2	0,03889	0,24808	248,1	250
API a DAF en tramos con la mitad del caudal medio	0,03889	2	0,01944	0,17542	175,4	180
Recirculación de lodos en el sistema de lodos activos	0,02266	2	0,01133	0,13391	133,9	150*
Purga de lodos activos	0,00042	2	0,00021	0,01816	18,2	150*
Purga de lodos del DAF	0,00003	2	0,00002	0,00492	4,9	150*
Purga de lodos API	0,00028	2	0,00014	0,01483	14,8	150*
Recirculación DAF	0,01950	2	0,00975	0,12422	124,2	140

*Para estos casos, se colocó la cañería normalizada más pequeña recomendada por ENOSHA que es de 150 mm cuando poseen menos de 10 metros de largo para evitar taponamientos

Dado que dichas cañerías deben conectarse a las bridas de entrada y salida de las bombas, las cuales poseen diámetros establecidos por los fabricantes, las mismas cuentan con los elementos de unión necesarios. Los diámetros de las bombas se pueden observar en la siguiente sección (7.9).

7.9. Sistemas de impulsión (Bombas)

Como se mencionó con anterioridad, los sistemas de impulsión deben ser impulsados por bombas para poder transportar el efluente y obtener las alturas requeridas para cada caso. Además, también se poseen las bombas de purga de lodos y la de recirculación de lodos en el caso particular del sistema de lodos activos.

Las bombas dosificadoras de coagulante del DAF y su bomba de recirculación fueron calculadas en la sección 7.3. La bomba dosificadora de cloro fue calculada en la sección 7.5.

Para la selección de las bombas de conducciones se utilizó el programa de dimensionamiento de bombas de la empresa Grundfos (<https://product-selection.grundfos.com>). Los datos a colocar en este programa son el tipo de bomba, la altura a alcanzar con la misma, el caudal, las características del fluido, posibles pérdidas de carga y las características del sitio a instalar las bombas. En este caso, las bombas son centrífugas.

Para el caso de las bombas de lodo, se utilizaron bombas de tornillo, en este caso de desplazamiento positivo, especiales para este tipo de lodos al ser viscosos y con alto contenido de sólidos marca Shandong Zhongrong (zrfx). El modelo de cada bomba depende del caudal de lodos a purgar o recircular.

En la tabla a continuación, se pueden ver las características generales de las bombas seleccionadas para las distintas funciones. En el Anexo, se pueden observar las características técnicas de las bombas con mayor precisión.

Tabla 25: Bombas seleccionadas para cada caso¹⁸

Función	Marca	Modelo	Caudal a purgar (m ³ /h)	Potencia (kW)	Diámetro nominal bomba (mm)
Purga de lodos API	Zrfx	G25-1	1	1,5	25
Purga de lodos DAF	Zrfx	G20-1	0,11	0,75	25
Purga de lodos lodos activos	Zrfx	G25-1	1,5	1,5	25
Recirculación lodos activos	Zrfx	G105-1	81,58	22	200

¹⁸ Tener en cuenta que también están las bombas de la unidad DAF para recircular y la del coagulante que ya fueron calculadas oportunamente.

Impulsión API a DAF	Grundfos	SE1.80.100.22. A.EX.4.50D.B	280	2,2	100 de salida
Impulsión DAF a lodos activos	Grundfos	SL.45.100.100. 4.52H.S.N.51D. A	280	10	150 de entrada 100 de salida

En el caso del sistema de recirculación y purga del sistema de lodos activos es una bomba por cada reactor.

7.10. Esquema final PTEL

En la imagen a continuación, se puede ver la imagen en planta desde el punto de vista superior.

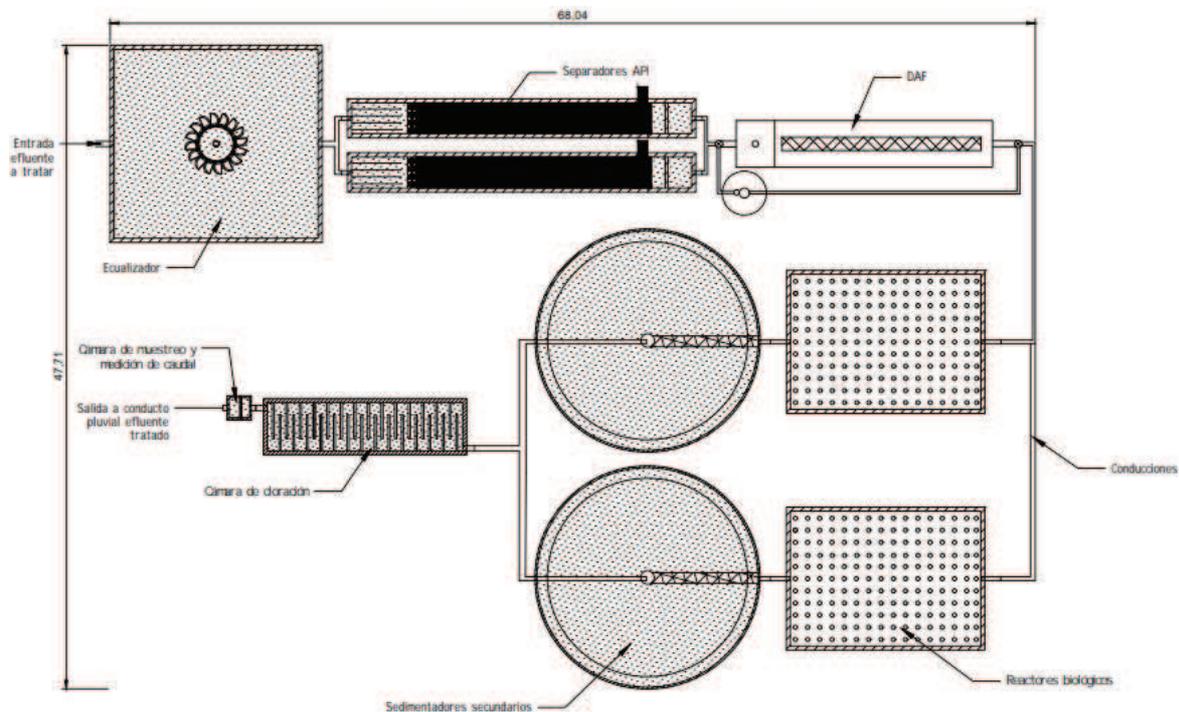


Figura 63: Vista superior de la PTEL y el espacio disponible para el proyecto (Fuente: Elaboración propia)

La PTEL ocupa un total de 3.246 m² o **0,325 ha** dejando un espacio disponible para el parque de **0,675 ha** para el parque solar.

La disposición espacial de la planta fue seleccionada en función de la menor ocupación de espacio posible, practicidad para los operarios y cercanía del vuelco con el conducto pluvial.

8. Memoria de cálculo: Diseño del parque fotovoltaico

En esta sección del proyecto, se realiza el cálculo de la cantidad de paneles solares a colocar en el parque solar anexo a la PTEL. Como el objetivo es poder disminuir la mayor cantidad de consumo energético posible para cumplir con la ley que obliga a los grandes generadores a cubrir el 35% de su demanda con energías renovables para el 2030, se colocará la mayor cantidad de paneles posibles en la superficie disponible más allá del consumo energético de la planta de tratamientos.

8.1. Requerimiento energético PTEL

Para calcular este requerimiento de energía se confeccionó la tabla 26 que se observa a continuación.

Tabla 26: Cálculo del requerimiento energético diario y mensual de la PTEL

Equipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de uso diarias	Energía consumida por día (kWh/día)	Energía consumida por mes (kWh/mes)
Aireador superficial ecualizador	Land Industrie	Landy-7	4,72	1	24	113,28	3398,4
Bomba de purga de lodos API	Zrfx	G25-1	1,5	1	12	18,00	540
Bomba de purga de lodos DAF	Zrfx	G20-1	0,75	1	3,3	2,48	74,25
Bomba de purga lodos lodos activos	Zrfx	G25-1	1,5	2	18	54,00	1620
Bomba de recirculación lodos de lodos activos	Zrfx	G105-1	22	2	19,57	861,08	25832,4
Centrífuga	GN Separation	GNSX-350	5,5	1	19,7	108,35	3250,5
Sopladores sistema de aireación lodos activos	Repicky	R5000	8,55	4	24	820,80	24624
Barredor sedimentador secundario	Jorsun	ZXG15	0,55	2	24	26,40	792

Bomba de impulsión de API a DAF	Grundfos	SE1.80.1 00.22.A. EX.4.50 D.B	2,2	1	24	52,80	1584
Bomba de impulsión de DAF a lodos activos	Grundfos	SL.45.10 0.100.4. 52H.S.N. 51D.A	10	1	24	240,00	7200
Bomba sistema de recirculación DAF	PAE	RSS-42 300	18,92	1	24	454,08	13622,4
Compresor sistema DAF	PAE	1750	2,27	1	24	54,48	1634,4
Bomba dosificadora coagulante DAF	HEPHIS	MW-15 L/hr-1MP a-25W	0,02	1	24	0,48	14,4
Bomba dosificadora cloro sistema de cloración	WAITEC	F-MA 1.5/12	0,03	1	5	0,15	4,5
TOTAL (kWh)						2.806	84.191

Teniendo en cuenta todos los equipos que consumen energía en la PTEL, se calculó la energía diaria que los mismos consumen multiplicando su potencia por la cantidad de horas de uso diarias. Se presenta también la energía consumida mensualmente para poder hacer la comparación más adelante con el simulador. Como la refinería trabaja las 24 horas al día, la mayoría de los equipos trabajan continuamente. El consumo total mensual es de **84.191 kWh**.

Cabe mencionar que, una planta de este estilo, puede llegar a consumir más energía. Este valor puede ser mayor al, por ejemplo, adoptar una recirculación de DAF más cercana al 80%. Además, al haberse adoptado porcentajes de remoción poco conservadores en el API y el DAF, la carga en el biológico resulta baja y por lo tanto requiere de menos oxígeno impactando en una menor potencia para la oxigenación del tanque. Estos datos podrían ser más exactos realizando estudios de laboratorio del efluente previo a su construcción.

8.2. Sistemas fotovoltaicos

Para hacer el dimensionamiento del parque solar, en primer lugar se describirán los distintos componentes de un sistema solar fotovoltaico y los distintos sistemas que existen.

Un sistema fotovoltaico consta de paneles solares, un inversor y, en caso de que el sistema

sea independiente o híbrido, de baterías. Además de las respectivas protecciones, materiales eléctricos como conectores MC4 y cableado.

Los paneles fotovoltaicos transforman la radiación solar en corriente continua. Esa corriente continua pasa por el inversor, es optimizada y convertida a corriente alterna capaz de alimentar los consumos. En este proceso, en el caso de que haya red eléctrica, el inversor toma los parámetros de la red de distribución eléctrica sincronizándose con la misma. Como la red utilizada en la refinería es trifásica, el inversor debe ser trifásico, es decir funcionar a 380 V.

Para aumentar el rendimiento de los paneles los mismos deben apuntar al Norte y no poseer sombras alrededor. El ángulo de inclinación óptimo en el Gran La Plata ronda los 30°.

A continuación, se describen brevemente los sistemas fotovoltaicos existentes.

8.2.1. Off-Grid

Los sistemas off-grid son sistemas desconectados de la red eléctrica. Son completamente independientes y requieren acumular la energía para que pueda ser utilizada en los momentos en los que no hay sol mediante el uso de baterías. Algunos inversores son 3 en 1 (como el que se observa en la imagen a continuación), y otros poseen el regulador de carga, ya sea PWM o MPPT, aparte.

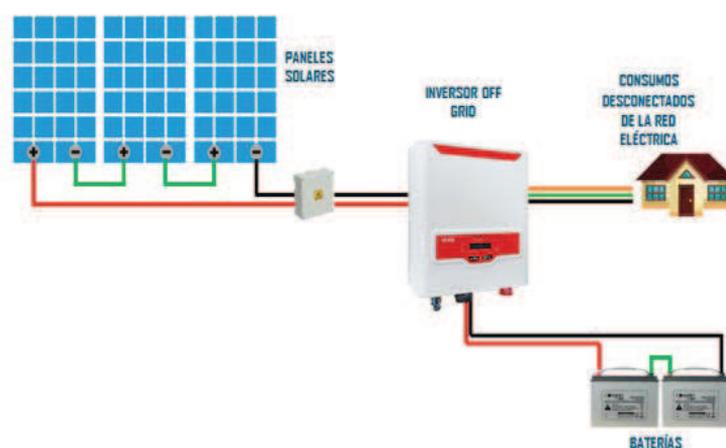


Figura 64: Esquema conexión sistema off-grid (Fuente: <https://www.myeel.com.ar/solar/>)

Este tipo de sistemas se pueden utilizar también como fuente de backup ante posibles cortes de luz pero no pueden inyectar a la red por lo que si hay un sobrante de energía y las baterías ya están cargadas, la misma se pierde.

8.2.2. On-Grid

Son sistemas que utilizan paneles solares e inversores que están montados sobre la red eléctrica existente. Se logra un ahorro sustancial en el costo ya que no usa baterías y, en los casos donde la producción eléctrica excede lo consumido, lo entregan a la red eléctrica vendiendo este excedente. En los momentos donde los paneles no producen energía, se usa la red. Ante un corte de luz, los consumos no pueden ser alimentados desde los paneles por la protección anti-isla de los inversores obligatoria por ley, de esta manera se evita posibles inyecciones a la red cuando un operario esté solucionado el problema que generó el corte de suministro. Por esta razón, no son efectivos frente a cortes de energía.

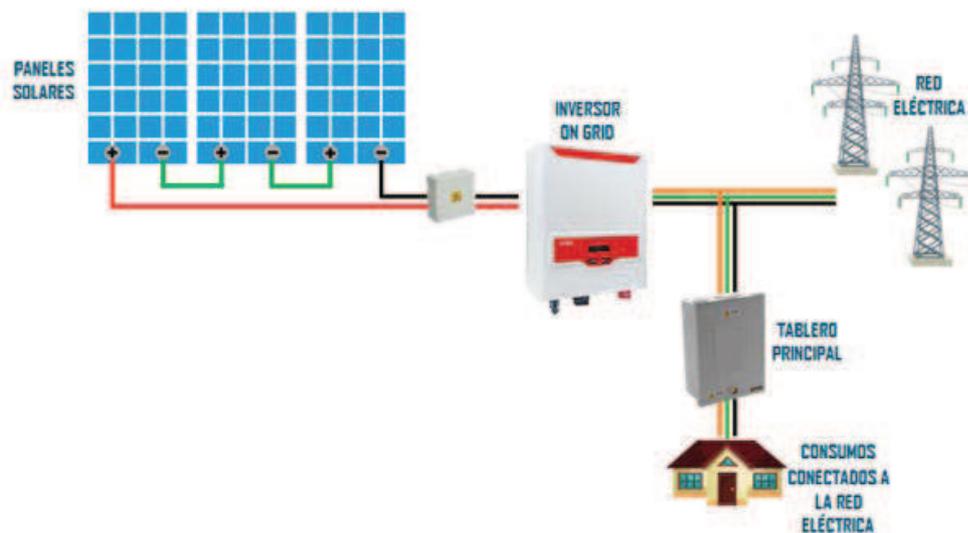


Figura 65: Esquema conexión sistema on-grid (Fuente: <https://www.myeel.com.ar/solar/>)

8.2.3. Híbridos

Éstos combinan lo mejor de los dos sistemas anteriores, incorporando baterías pero aprovechando la red eléctrica en el caso de que las baterías o los paneles no sean suficientes. Además, ante un excedente en la producción eléctrica de los paneles pueden

venderlo a la red eléctrica al igual que en el sistema On-Grid pero poseyendo un back-up de energía gracias a las baterías ante posibles cortes del suministro eléctrico.

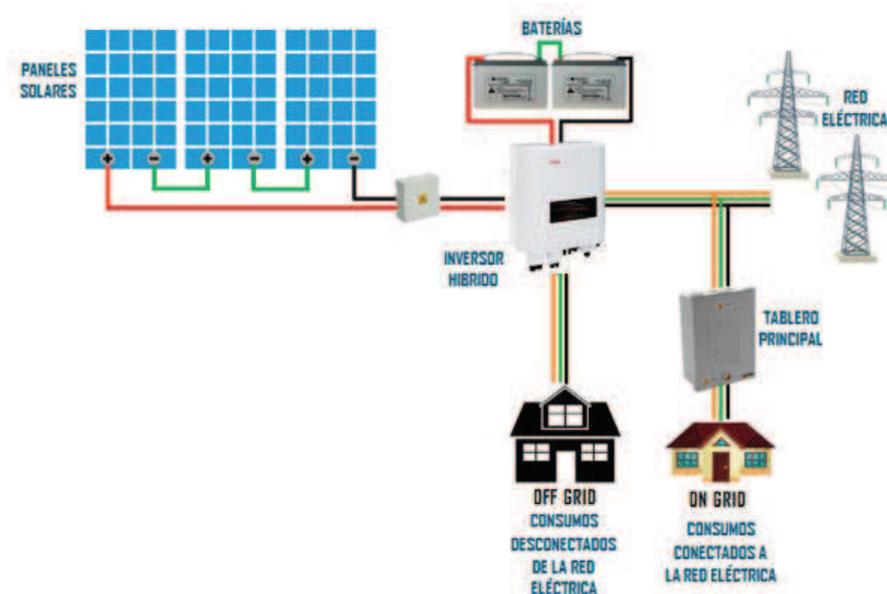


Figura 66: Esquema conexión sistema híbrido (Fuente: <https://www.myeel.com.ar/solar/>)

Cuando los sistemas superan una cantidad de Wh a acumular en baterías (alrededor de 100 kWh) se pasa a hablar de *Battery Energy Storage System* (BESS) donde las baterías se encuentran almacenadas en contenedores con ventilación, refrigeración, sistema antiincendios...



Figura 67: Imagen representativa de una BESS de Tesla (Fuente: <https://www.teslarati.com/tesla-big-battery-brings-more-pain-to-gas-and-coal-plants/>)

8.3. Sistema fotovoltaico a instalar

En este caso, el sistema fotovoltaico a instalar será un **sistema on-grid** para utilizar la energía generada por los paneles durante el día para el autoconsumo de la PTEL o de otras instalaciones de la refinería si es que la misma supera la energía consumida por la PTEL. Como en Berisso la distribuidora EDEN aún no permite la inyección a red y, como el consumo de la refinería es enorme, la inyección a la red no ocurrirá ya que se consumirá en su totalidad la energía generada. Por esta razón, no se realizará el trámite de cambio de medidor. Además de que la ley aún no está regulada en Provincia de Buenos Aires.

No se coloca un sistema híbrido ya que la idea del proyecto es ser más sustentable promoviendo los ODS y cumpliendo la ley 27.191. Agregar baterías significa un CAPEX muchísimo mayor además de la necesidad de cambiar las baterías cada alrededor de 10 años o 25 años en el caso de colocar un sistema BESS. El uso de baterías como back-up trae aparejada también la necesidad de disponer responsablemente de las mismas al poseer un impacto ambiental negativo muy alto sino son dispuestas de manera consciente. Además, los cortes de luz en la zona industrial son casi inexistentes. Obviamente la refinería dispone de un sistema de emergencia para estos casos donde se alimenta a partir de sus propios productos.

8.4. Dimensionamiento

Para hacer el dimensionamiento del parque solar, se utilizó el sistema de diseño PVSyst® que permite obtener la disposición e inclinación óptima de los paneles solares sobre el terreno seleccionado. El mismo usa la ubicación geográfica e integra en un algoritmo de cálculo las componentes de irradiación recibidas sobre el plano inclinado. Se tienen en cuenta distintos factores como por ejemplo la hora solar pico (HSP) que, en el caso del Gran La Plata ronda las 4,5 horas. Los parámetros de velocidad del viento, radiación solar y temperatura se importan a su vez del programa Meteonorm. La simulación se realiza en el período de un año. Se tiene en cuenta la radiación horizontal tanto directa o difusa a través del modelo Orgill y Hollands además del albedo y el coeficiente de claridad.

El PVSyst no sólo permite dimensionar el sistema más eficaz y óptimo sino que también es capaz de analizar los distintos sombreados posibles para evitarlos. En el caso de la PTEL, no habrá ningún árbol alrededor por lo que la única fuente de sombra son las mismas unidades de la PTEL y los mismos paneles circundantes. Para calcular la distancia óptima

entre filas y evitar el sombreado entre módulos fotovoltaicos, se utilizó la página monsolar (<https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>).

Para realizar el informe, primero se deben seleccionar los módulos fotovoltaicos e inversores a utilizar.

8.4.1. Módulos fotovoltaicos seleccionados

Para realizar el parque solar se decidieron utilizar módulos fotovoltaicos de ZnShine Solar, marca Tier 1 de alta eficiencia. Al estar compuestos por celdas de silicio monocristalino con tecnología PERC PV se maximiza la eficiencia y se posee una mayor vida útil al degradarse menos las celdas fotovoltaicas que otros productos del mercado. Además, al poseer tres diodos de *bypass* y al ser *halfcell*, la eficiencia total del módulo se ve menos afectada ante sombreados parciales, puntos calientes o algún problema en alguna celda. Resisten a la lluvia y granizo de hasta cierto tamaño en cumplimiento con las normas DIN EN 60068-2-68, IEC 61701, IEC 62716. Por otra parte, toleran vientos de hasta 150 km/h, un amplio rango de temperatura y poseen alta resistencia PID por lo que no habría problema ante estos factores. Al no ser el Gran La Plata una zona que sufra de huracanes, este riesgo no es probable por lo que no deben tomarse medidas especiales para el mismo.

El modelo seleccionado es el ZXM8-TPLDD120 de 600 W. Son módulos bifaciales con tecnología de doble vidrio monocristalino. Al ser bifaciales se puede producir energía desde ambos lados de los mismos, aumentando la generación de energía total hasta en un 25% en la cara posterior dependiendo del albedo.

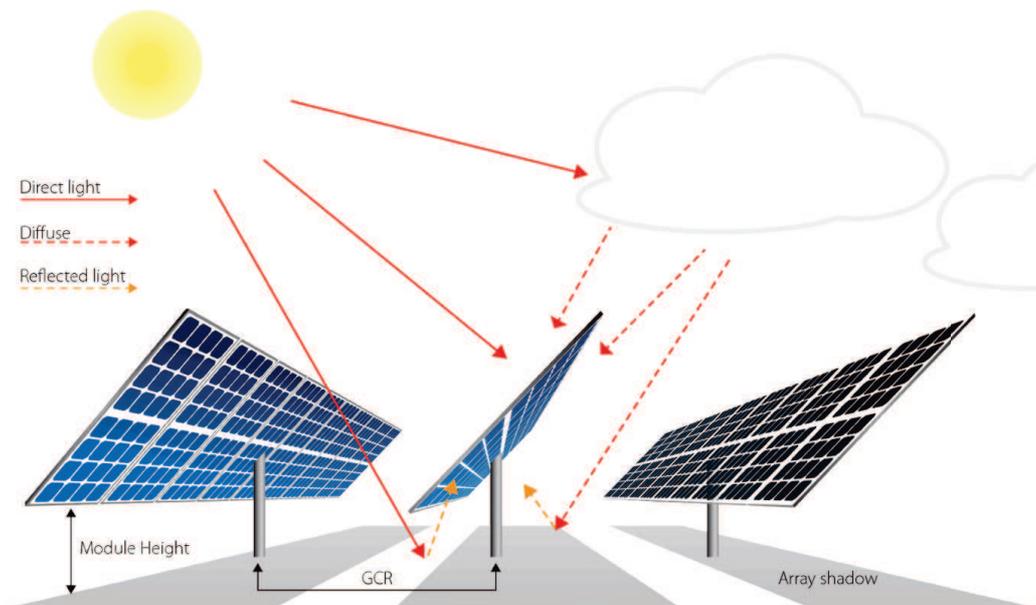


Figura 68: Esquema de módulos bifaciales, no sólo generan energía del frente sino que aprovechan también la energía difusa y la energía reflejada por el módulo de la fila siguiente

(Fuente:

https://es.futuresolarpv.com/js/htmledit/kindeditor/attached/20200427/20200427105413_86673.png)

Los mismos poseen 12 años de garantía de producto y una vida útil de 30 años. Luego, los mismos siguen generando energía pero con un menor rendimiento y ya no necesariamente con una disminución lineal.

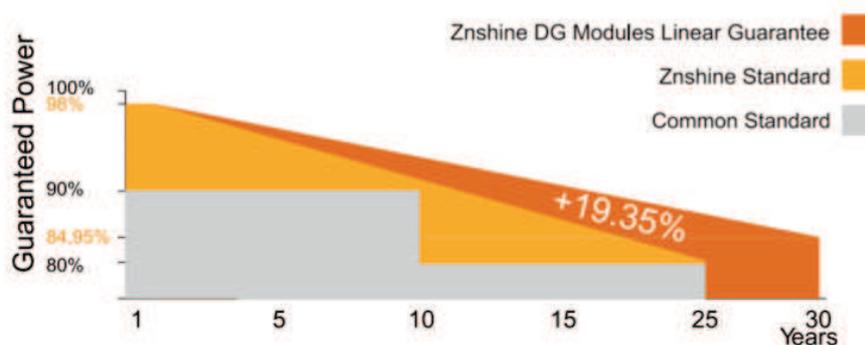


Figura 69: Rendimiento del panel a lo largo de los años (Fuente: ficha técnica ZNshine Solar, figura 110 del anexo; <https://www.znshinesolar.com/module/>)

La ficha técnica de los módulos seleccionados puede verse en la figura 110 del anexo. Sus medidas son de 2.172*1.303*35 mm incluyendo el marco, son IP68 y pesan 35 kg. Se

seleccionaron de 600 W para poder hacer un uso eficiente del espacio al ser de alta potencia con casi las mismas dimensiones que los paneles de 455 W de la misma marca.

Los datos de estos módulos más importantes que son considerados por el PVsyst, además de su potencia nominal, son el voltaje de circuito abierto que corresponde a 39 V y la corriente de cortocircuito de 14,8 A.

8.4.2. Inversor seleccionado

Al ser el inversor el corazón del sistema fotovoltaico, se decidió colocar equipos marca Schneider Electric Solar ya que son equipos de alta calidad y renombre mundial. Para este caso en particular, se seleccionaron inversores Grid Tie modelo Conext CL60E de 66 kWac. Su eficiencia es de 98,9%. Los mismos son trifásicos y se pueden colocar en paralelo hasta 30 inversores llegando a una potencia de total de hasta 2 MW. Poseen 14 entradas para las cadenas conectadas a un sólo MPPT. Adicionalmente, cumplen todas las normas de seguridad eléctricas pedidas por la ley argentina.

- Normas de seguridad eléctrica: EN/IEC 62109-1/ EN/IEC 62109-2, VDE 0126-1-1 y G59/3
- Normas ambientales: RoHS, REACH y 4K4H

Los mismos pueden funcionar hasta 3.000 m de altura sobre el nivel del mar. En el caso de este proyecto, es más que suficiente.

La ficha técnica del inversor en cuestión puede observarse en la figura 111 del anexo. Las características más importantes consideradas por el PVsyst para realizar el dimensionamiento, además de su potencia nominal, son la tensión en CC de entrada al inversor para su funcionamiento en modo MPPT (Maximum Power Point Tracking, seguidor punto de máxima potencia para ampliar al máximo la energía del módulo fotovoltaico) que está comprendida entre los 570 a 850 V y la corriente de entrada en CC máxima que es de 120 A. Por esta razón, las cadenas se forman idealmente por 20 módulos fotovoltaicos en serie de los seleccionados para este proyecto.

Los mismos son IP68, pesan 58 kg y poseen dimensiones de 95,8*65,25*25 cm. Su garantía de producto es de 5 años.



Figura 70: Inversor CL60E (Fuente:

<https://solar.schneider-electric.com/es/product/inversor-string-cl-60e/>)

El inversor cuenta con protecciones en corriente continua y en corriente alterna en concordancia con las normativas internacionales vigentes.

8.4.2.1. Sistema de monitoreo

A estos inversores se les puede acoplar un una plataforma de monitoreo energética para observar los distintos parámetros del parque en tiempo real de manera remota. El seleccionado para este parque es el Insight Facility que soporta sistemas solares de hasta 3 MW.

El sistema permite monitorear la tensión de fases en la red, la potencia nominal de la salida del inversor, acceder a datos históricos, observar la generación diurna y mensual de la planta a través de gráficos además del desempeño de cada componente. Adicionalmente, posee la ventaja de notificar al usuario si hay alguna falla o evento del sistema fotovoltaico.

La información se recolecta y se puede acceder gracias al Conext Insight Cloud de Schneider Electric sin necesidad de estar conectado a la red local. La aplicación de este equipo proporciona una visión general del funcionamiento del sistema fotovoltaico y un análisis detallado del rendimiento y desempeño. La interfaz es muy amigable como se observa en la imagen a continuación.

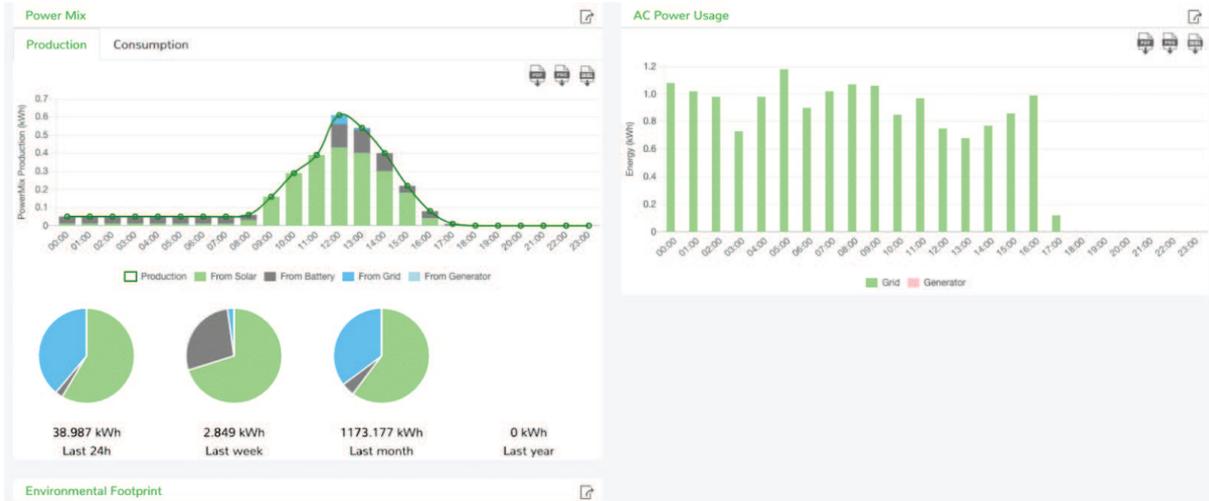


Figura 71: Interfaz del sistema conext insight donde se observan los parámetros del parque

(Fuente:

<https://41j5tc3akbrn3uezx5av0jj1bgm-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/12/Conext-Insight-2-Site-Advanced-Analytics.png>)

Se puede observar el datasheet del equipo de monitoreo en la figura 112 del anexo. La garantía de producto del mismo es de 2 años.

8.4.3. Estructuras seleccionadas

Las estructuras seleccionadas son estructuras con estaca helicoidal para una fácil instalación en el suelo de fijación vertical. Las mismas se hincan en el suelo permitiendo acortar los tiempos de instalación. Además, están especialmente diseñadas para estar a la intemperie y poseen un galvanizado por inmersión en caliente. Se decidieron colocar este tipo de estructuras también ya que permite colocar dos paneles en el eje “y” disminuyendo mucho los costos de estructuras. Un esquema de las mismas se pueden observar en la figura a continuación.

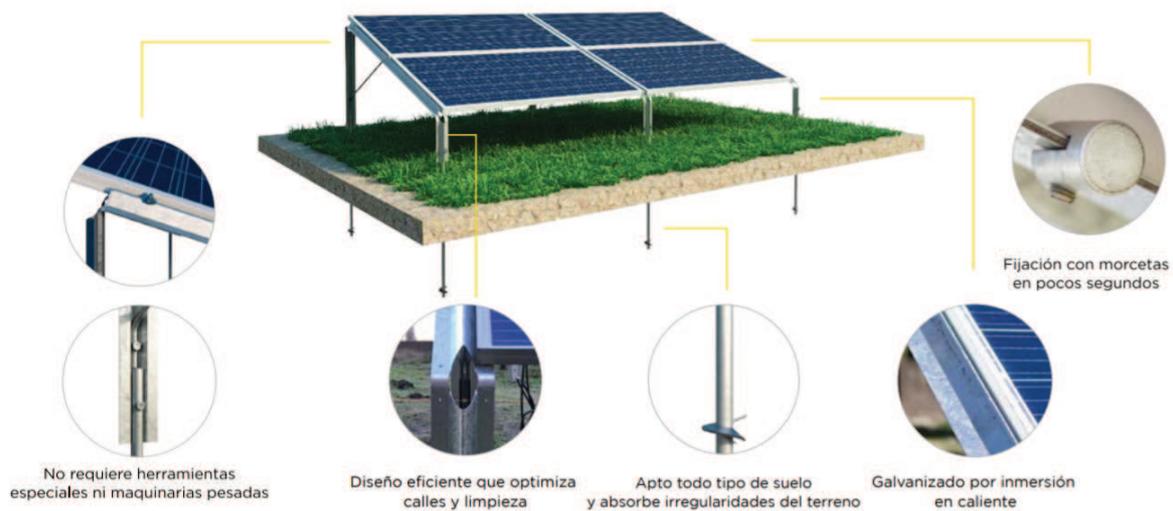


Figura 72: Esquema de las estructuras a utilizar con sus respectivas ventajas (Fuente: https://tonkasolar.com.ar/wp/wp-content/uploads/2020/08/BAJA-ESTRUCTURAS_COMPLETO-2020.pdf)

Resisten vientos de hasta 58 m/s y están en cumplimiento con las normas IRAM.

Las mismas permiten además tener una altura suficiente del suelo para evitar que los paneles se vean afectados por potenciales inundaciones. Más allá de que son aptas para todo tipo de suelo con *Pull out test* de hasta 1.000 kg, como la zona es inundable, se colocará una fundación de hormigón una vez se coloquen las estructuras para evitar posibles movimientos indeseados como se observa en el esquema a continuación.

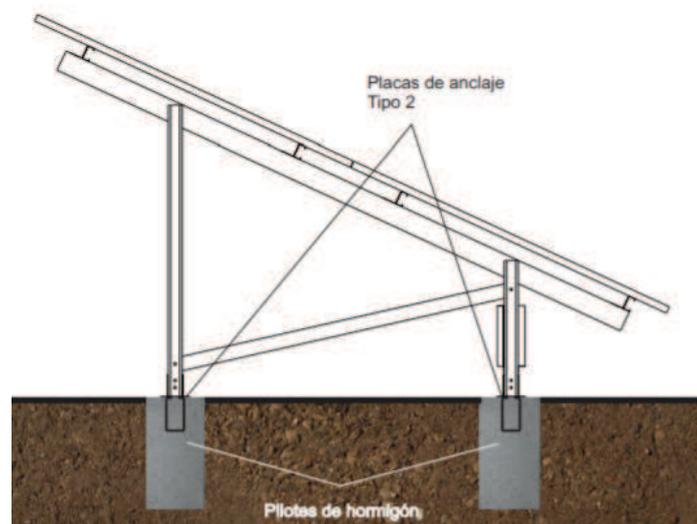


Figura 73: Esquema de los pilotes de hormigón en estructuras hincadas (Fuente: [Fuente: \[no legible\]](#))

http://www.iderosolar.com.ar/img_productos/07251631_IDEROSolarSOPORTESSOLARES_FIJOSPARATERRENO190412.pdf

La inclinación de los módulos permitirá una fácil limpieza (el mantenimiento es mínimo, se limpian con agua cada 6 meses) y evitará acumulación de impurezas.

El proveedor de las estructuras seleccionado es TONKA SA por poseer estructuras para suelos fáciles de instalar y ser de industria nacional. Las mismas serán conectadas eléctricamente a tierra.

8.4.4. Resumen informe PVsyst

Además de brindar el equipamiento seleccionado al programa se debe colocar la ubicación geográfica exacta y la superficie disponible. Para realizar esto último se le brindó el espacio disponible de 100*100 m y se realizó en 3D la PTEL para ver el espacio realmente disponible para los paneles y para analizar el posible sombreado de las unidades sobre los paneles. Se observa esto último en la imagen a continuación.

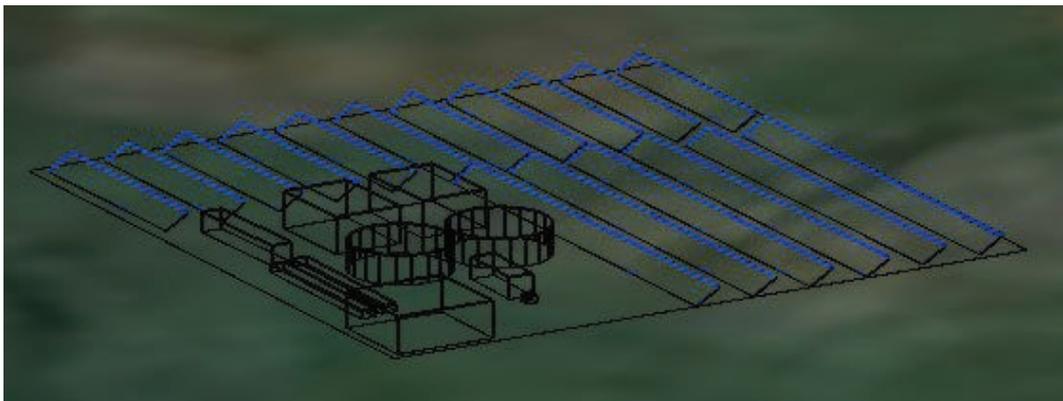


Figura 74: Imagen del PVsyst donde se observa en perspectiva la PTEL, el espacio disponible para el proyecto y los módulos fotovoltaicos (Fuente: Elaboración propia utilizando el PVsyst)

8.4.4.1. Inclinación y azimut

La inclinación del panel viene dada en función del emplazamiento, latitud del lugar, y demanda de energía prevista. La inclinación óptima en verano es distinta de la de en invierno. Existen *trackers*, también llamados seguidores solares, que permiten cambiar la inclinación en función de la época del año y también seguir al sol durante el día para aumentar la eficiencia. En este caso, no fueron seleccionados ya que aumentan bastante los costos y el mantenimiento del sistema sin dar un aumento de la productividad suficiente

para afrontar estas desventajas. En este caso, el programa selecciona la inclinación óptima teniendo en cuenta un promedio donde la generación se maximiza en el total del año. Para este proyecto, este valor fue de **30°**.

Por otro lado, la orientación ideal es el Norte pleno. Por la orientación de la ruta y de la refinería en sí, el azimut del proyecto es de -36° siendo cercano al valor de eficiencia máximo.

8.4.4.2. Separación entre módulos

Como se mencionó anteriormente, la separación entre módulos se calculó gracias al programa de Monsolar. Colocando las medidas de los mismos, y ya definiendo que irían colocados de manera vertical con dos módulos en el eje "y" y la mayor cantidad posible en el eje "x", se obtuvo que la separación recomendada entre filas era de **9 m**.

8.4.4.3. Características del conjunto fotovoltaico

Según el espacio disponible y la mejor disposición del mismo, el programa calculó un total de **1.120 módulos** en 56 cadenas en paralelo. La potencia global nominal del conjunto es entonces de **672 kWp** de potencia fotovoltaica. Los módulos ocupan, teniendo en cuenta la inclinación, un total de **2.964 m²**. A este valor se le debe sumar también los 9 m de separación entre filas ocupando la totalidad del espacio.

Se colocarán **10 inversores CL60** en paralelo teniendo un potencia total de 660 kWac. Los mismos pueden ser sobredimensionados hasta un 20% sin problemas. Se conectarán 5 cadenas a cada inversor y habrá 6 inversores con 6 cadenas.

8.4.4.4. Energía generada

Parte del informe del PVsyst incluye la generación energética. Es decir, la energía que se generará mes a mes y por kWp instalado y el índice de rendimiento. A continuación, se puede observar esta información en los siguientes gráficos:

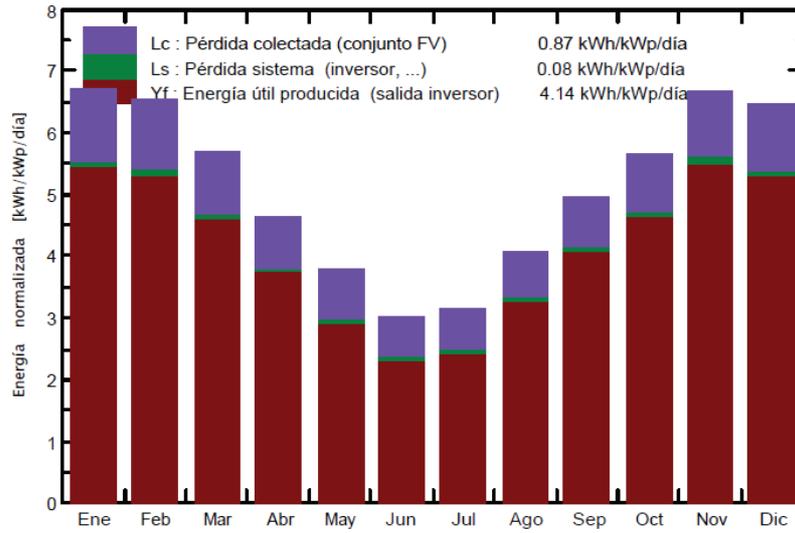


Figura 75: Producciones normalizadas por kWp instalado

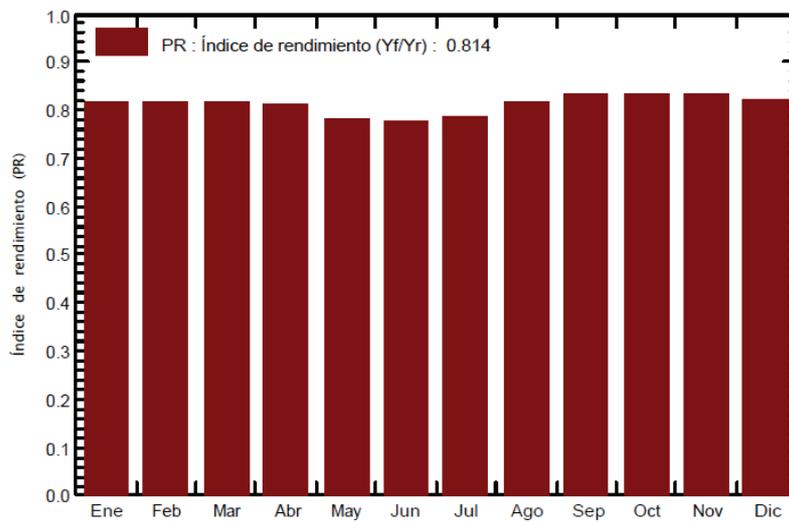


Figura 76: Índice de rendimiento del sistema

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	217.8	74.70	24.54	207.7	194.1	115.8	113.8	0.815
Febrero	177.5	68.48	23.41	182.6	170.4	102.0	100.3	0.817
Marzo	158.7	55.25	21.34	176.6	164.6	98.3	96.5	0.814
Abril	113.6	48.61	17.22	139.0	128.6	77.3	75.9	0.812
Mayo	84.5	31.34	13.63	116.5	106.4	62.5	61.2	0.782
Junio	64.3	31.29	10.94	90.5	82.1	48.2	47.1	0.774
Julio	70.4	31.40	10.16	97.1	88.5	52.5	51.2	0.785
Agosto	98.9	44.44	11.85	125.8	115.6	70.4	68.9	0.815
Septiembre	130.3	56.47	13.66	148.6	137.7	84.5	82.9	0.830
Octubre	167.6	75.03	17.75	174.6	162.2	99.2	97.3	0.829
Noviembre	204.7	85.92	20.07	199.8	185.8	113.3	111.3	0.829
Diciembre	216.5	86.04	22.68	199.9	185.9	112.4	110.3	0.821
Año	1704.9	688.97	17.24	1858.7	1721.9	1036.5	1016.7	0.814

Leyendas: GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Índice de rendimiento

Figura 77: Balances y resultados principales del sistema

A partir de la figura 77, se observa que se generarán 1.016,7 MWh por año que serán inyectados a los consumos (columna E_Grid marcada en rojo). Esto último corresponde a un promedio mensual de 84.725 kWh. El mes con mayor generación es enero con una generación de 113.800 kWh y el mes de menor generación es junio con una generación de 48.200 kWh.

Del promedio mensual brindado por el programa, se puede inferir que se estará generando de manera anual el 100% del consumo de la PTEL (84.191 kWh/mes) sobrando solamente 534 kWh/mes o 6.408 kWh/año. Esta energía no sería perdida sino que se inyecta al resto de los consumos de la refinería como pueden ser procesos o mismo iluminación.

Cabe aclarar que, los 84.725 kWh/mes se generan sólo en las horas solares, no a lo largo de las 24 horas y por esta razón es que en verdad, de la totalidad de la energía generada, a la PTEL sólo se inyectan alrededor de 21.181 kW/mes. Ese valor es en promedio, en verano se inyectaría más energía y en invierno menos. Cuando no hay sol la energía es tomada de la red de distribución o de los propios coproductos de la refinería. El resto de la energía es inyectada, como ya se mencionó, a otros de los procesos del complejo industrial.

8.4.4.5. Pérdidas del sistema

El PVsyst también informa las distintas pérdidas que posee el sistema fotovoltaico.

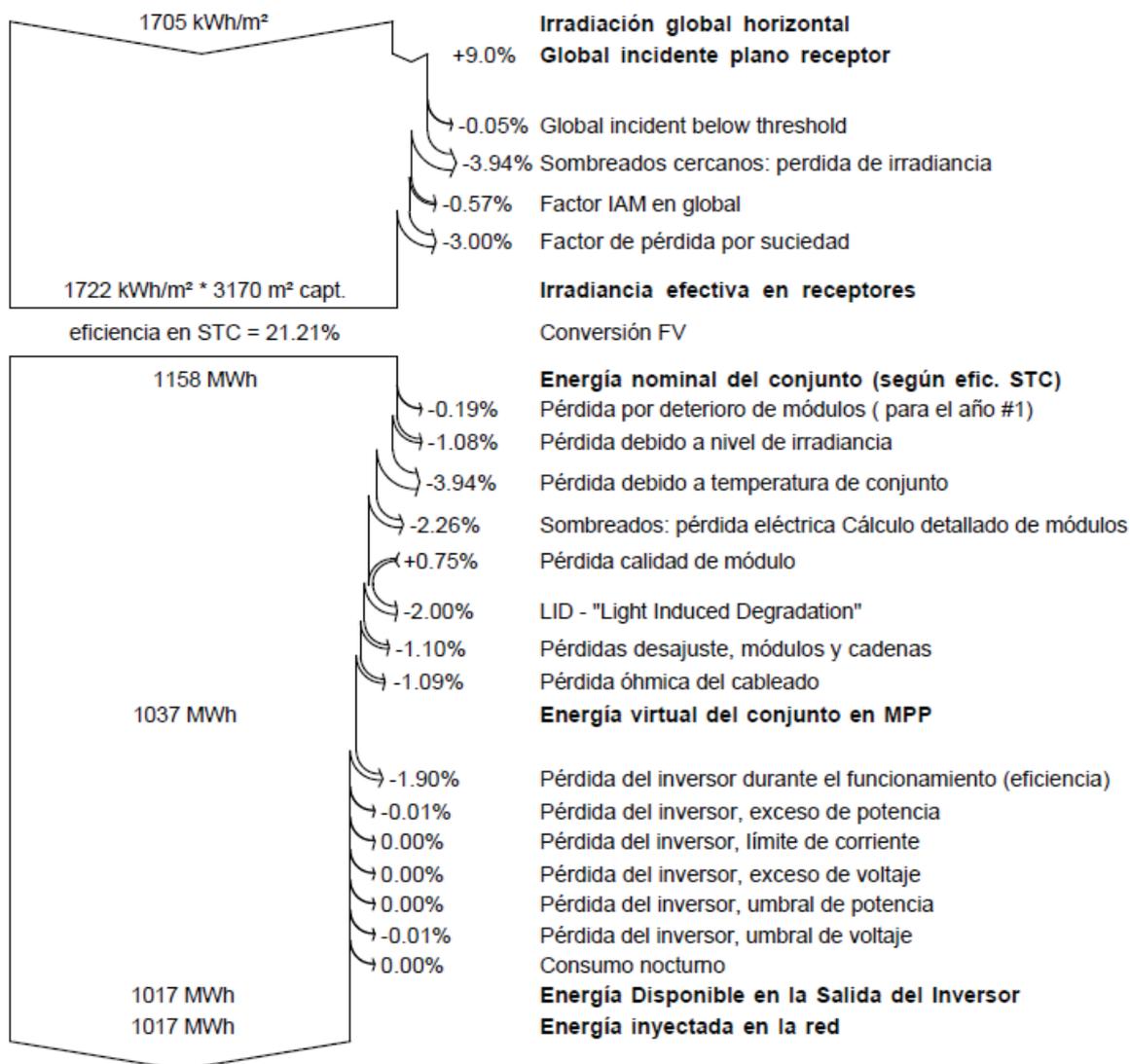


Figura 78: Diagrama de pérdidas

Se observa gracias a la figura precedente que las mayores fuentes de pérdidas son las debidas a la temperatura del conjunto y por los sombreados cercanos seguidas por las pérdidas por suciedad. Estas últimas se pueden reducir con una limpieza periódica.

8.4.4.6. Sombreados de la planta

Parte del informe del PVsyst habla sobre los sombreados generados en la planta. Como se comentó anteriormente, las únicas fuentes de sombreado son la PTEL y los paneles

colindantes. Gracias a la imagen a continuación y a la simulación de sombreado se puede conocer si la distancia entre elementos es la óptima.

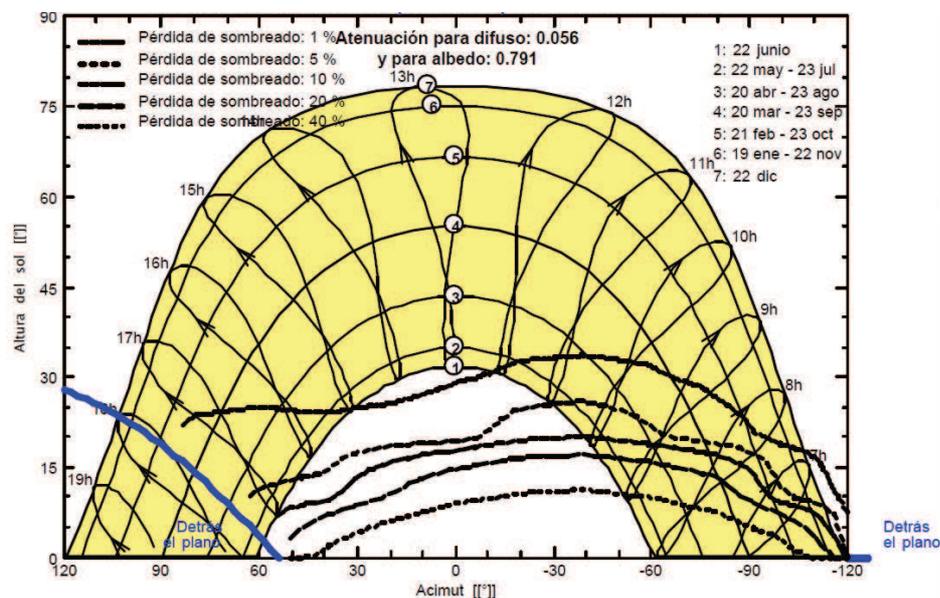


Figura 79: Gráfico de las curvas de iso-sombreado. Se puede observar la diferencia de generación y sombreado entre junio (curva 1) y diciembre (curva 2)

Se observa que durante las horas de la mañana no hay ningún tipo de sombreado importante y se sombrea recién a las 18 horas. Este sombreado es el que genera la fila anterior de módulos fotovoltaicos, pero es un horario que no pertenece a las horas solares pico donde se maximiza la generación anual. Se observa que la PTEL genera algo de sombreado en algunos módulos durante la mañana pero esto no es significativo por lo que la distancia es la correcta.

Se debe tener en cuenta que el sombreado varía con la época del año ya que varía la posición del Sol. En enero, se sombrea a partir de las 18 horas pero no por la mañana mientras que en invierno se sombrea hasta las 9 de la mañana y luego recién luego de las 18. De todas maneras, fue la disposición más conveniente desde un punto de vista de generación energética con el espacio disponible que se posee.

8.4.4.7. Reducción de emisiones

La utilización de energía solar disminuye las emisiones de CO₂ que se liberarían a la atmósfera si se usaran combustibles fósiles en su lugar. Las mismas se pueden contabilizar gracias a la herramienta "Balance de carbono" del PVsyst estimando la cantidad de dióxido

de carbono que se logra no emitir a la atmósfera gracias a la instalación fotovoltaica simulada.

La base de este cálculo son las denominadas Emisiones del ciclo de vida (LCE por sus siglas en inglés), que representan las emisiones de CO₂ asociadas a un componente. Estos valores incluyen el ciclo de vida total de un componente o cantidad de energía, incluida la producción, operación, mantenimiento, eliminación, etc.

El razonamiento detrás de esta herramienta es que la electricidad producida por la instalación fotovoltaica reemplazará la misma cantidad de electricidad en la red existente. Si la huella de carbono de la instalación fotovoltaica por kWh es menor que la de la producción de electricidad de la red, habrá un ahorro neto de emisiones de dióxido de carbono. Por lo tanto, el balance de carbono total para una instalación fotovoltaica es la diferencia entre las emisiones de CO₂ producidas y las ahorradas, y depende de cuatro factores clave:

- E_Grid: La producción del sistema de la instalación fotovoltaica durante un año según lo calcula la simulación de PVsyst
- Vida útil del sistema: esta es la vida útil de la instalación fotovoltaica expresada en años. Determina, junto con E_Grid, la cantidad total de energía que será reemplazada por la instalación fotovoltaica.
- LCE de Red: Se expresa en gCO₂ / kWh y representa la cantidad promedio de emisiones de CO₂ por unidad de Energía para la Electricidad producida por la Red.
- Sistema fotovoltaico LCE: se expresa en tCO₂ y representa la cantidad total de emisiones de CO₂ causadas por la construcción y operación de la instalación fotovoltaica (PVSyst, NE)

Para el último factor se tiene en cuenta la huella de carbono de los módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras...

A partir de esta información, se genera un gráfico para la instalación FV particular estudiada. El mismo se observa a continuación:

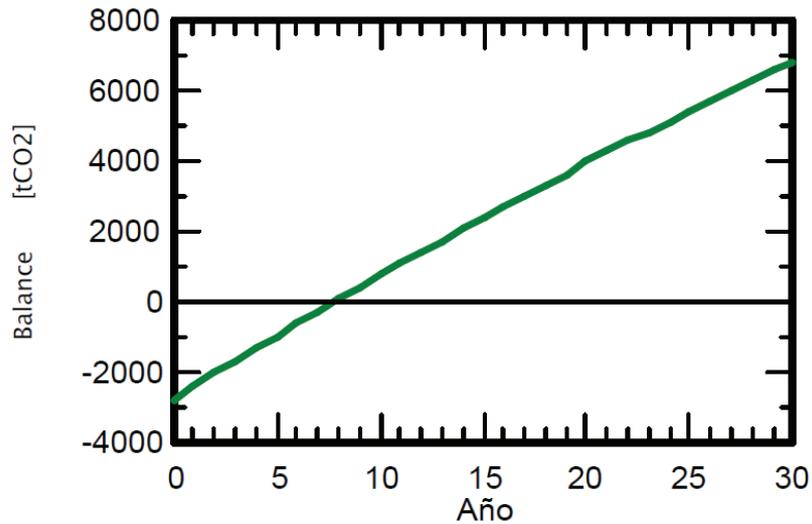


Figura 80: Gráfico generador por el PVSyst con la disminución de las emisiones de CO₂

En esta figura, se observa una línea horizontal negra que representa el equivalente de emisiones (tCO₂) de los materiales adquiridos al principio de la vida de la instalación. Luego, se observa una línea verde ascendente que representa el equivalente de emisiones que se evitan liberar a la atmósfera año a año gracias a utilizar el sistema fotovoltaico y no la red eléctrica convencional. El punto de intersección entre ambas rectas, representa el año en el cual las reducciones de gases de efecto invernadero superan a las generadas por la instalación del sistema. En el caso de este sistema se observa que es el año 8. Se puede observar también que se logran evitar emitir **7.000 tonCO₂** a la atmósfera gracias a este sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil.

8.4.5. Configuración eléctrica

Además de los equipos ya mencionados, se deben colocar protecciones, materiales eléctricos (cables, conectores...), gabinetes... Es importante que la misma esté bien dimensionada para que el sistema funcione de manera eficiente. Además, las protecciones son obligatorias por ley ya que aseguran la seguridad de las personas. No sólo esto, sino que también protegen a los equipos y unidades de la planta. Sumado a las protecciones se coloca una puesta a tierra para evitar el riesgo eléctrico.

A continuación, se describe la configuración eléctrica de la planta.

8.4.5.1. Protecciones y cableado

Como se mencionó anteriormente son 56 cadenas en paralelo de 20 módulos fotovoltaicos en serie. Cada cadena, también denominada *string*, se une al inversor y entre módulos gracias al cable solar incorporado a cada panel. El circuito se cierra con cable tipo subterráneo unipolar aislado. Cada par, tanto el positivo como el negativo, de cable solar proveniente de las cadenas se debe conectar a la *wiring box* del inversor que posee las protecciones de fusibles.

La sección de los cables desde los paneles hasta el inversor se estima será de 6 mm² aunque esto depende de la distancia a recorrer por el tendido de corriente continua. Para obtener la sección, se tiene en cuenta que las pérdidas no sean mayores al 2%. El cableado (dos conductores, positivo y negativo) van enterrados durante todo el recorrido de cables en corriente continua, cumpliendo con lo indicado en normativa local vigente.

En lo que respecta al cableado de corriente alterna, a la salida de AC se coloca una AC *switch box* junto a cada inversor con protecciones termomagnéticas para proteger el cableado. También se colocan protecciones contra falla a tierra y sobrecorriente, de acuerdo con la normativa local vigente. Para el cálculo del calibre del cable de corriente alterna, se utiliza un programa conocido como “Cálculos eléctricos” que toma en cuenta la distancia, tensión, carga, factor de potencia (0,9), máxima caída de tensión (2%) y la temperatura ambiente (20°C en este caso al estar enterrado). Como la sala anexa que contendrá al inversor y el tablero seccional de la PTEL aún no está definida ya que forma parte del trabajo eléctrico de la refinería en sí, no incluido en este proyecto, este calibre se debe calcular de manera posterior aunque el mismo probablemente ronde entre 16 y 120 mm² dependiendo de la distancia a recorrer.

Por último, la corriente generada por el conjunto de inversores se unifica en un tablero de combinación de AC, que luego se conecta al tablero seccional de la PTEL de la refinería.

8.4.5.2. Puesta a Tierra

La totalidad de componentes del parque, incluyendo módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras, cables, interruptores y postes se deben unir eléctricamente entre sí y a la puesta a tierra de acuerdo con el Reglamento de Energía Eléctrico en vigor y aplicable. El sistema de puesta a tierra de la planta fotovoltaica será único para toda la instalación. Con un conductor de cobre por inversor *string* con las picas de puesta a tierra necesarias. El

conductor de puesta a tierra puede compartir las zanjas de corriente continua e irá enterrado directamente.

Los paneles están conectados en modo “flotante” sin conexión específica de puesta a tierra. Como los marcos de los mismos están en contacto con la estructura metálica, los mismos se encuentran a tierra ya que la estructura es el medio de conexión con la red equipotencial de la planta.

9. Cómputos y presupuesto

En este sector del proyecto, se realiza el análisis de cómputos y presupuestos. Saber el valor económico de la inversión inicial (CAPEX) y del valor del mantenimiento de la PTEL (OPEX) es muy importante para saber si el proyecto es viable desde un punto de vista económico. También se analizará la inversión inicial del parque solar y el ahorro energético que el mismo implica además de su costo de mantenimiento. Cabe aclarar que es un estudio económico preliminar por lo que los costes reales pueden variar al momento de realizar el proyecto.

Por la inestabilidad económica del peso argentino y porque la mayoría de las cotizaciones pedidas de este tipo de equipamiento se encuentran en dólares estadounidenses (USD) el análisis económico se realiza en esta moneda. Cabe aclarar que, los valores que se encontraban en pesos argentinos, se trasladaron a dólares tomando como referencia la cotización del valor vendedor billete del dólar del Banco Nación del día 7 de enero de 2022, de \$108,50.

El tratamiento de los efluentes es obligatorio desde un punto de vista legal, aunque se podría realizar de manera tercerizada. Esta opción se analizará como parte de la factibilidad económica. La construcción del parque solar es opcional desde un punto de vista legal pero es una bajada de línea importante que realizaron las autoridades de la empresa contratante para aumentar la sostenibilidad de la refinería. De todas maneras, su implementación disminuirá el consumo energético por lo que no sólo es importante desde un punto de vista corporativo sino que a la larga probablemente generará ganancias económicas también. Esto último también será analizado en este punto del proyecto.

9.1. CAPEX

La inversión inicial de bienes de capital o CAPEX, por sus siglas en inglés *Capital Expenditures*, corresponde al desembolso inicial económico que se debe realizar para construir la PTEL y el parque solar. Se divide en costos directos e indirectos. Los directos corresponden a la compra y puesta en marcha de las distintas unidades de la PTEL y el parque así como al acondicionamiento del terreno. Los indirectos corresponden a los trabajos preliminares que deben realizarse como el estudio de suelos, la confección de documentos, obtención de permisos y anteproyectos de la obra.

Los costos del proyecto se pueden observar en la tabla a continuación. La inversión total del proyecto corresponde a **USD 1.776.120 + IVA**. Los valores de cada equipo y servicio se obtuvieron de distintas empresas además de páginas web de compra online de equipamiento industrial como Alibaba. Se observa que el 67% de la inversión corresponde a la PTEL mientras que el 33% corresponde al parque solar. Dentro del análisis de la PTEL únicamente, los mayores costos corresponden al DAF y a los API. Esto último es lógico ya que ambos son equipos de la industria petrolera prearmados y modificados para este proyecto.

Tabla 27: Costos de la inversión inicial del proyecto

Artículo o Tarea	Unidad	Costo unitario (USD + IVA)	Cantidad	Costo Total (USD + IVA)	% de incidencia en el total
PTEL					
Estudios preliminares					
Anteproyecto y dirección de obra	NA	5500	Gl.	5500	
Trámites y acciones administrativas y legales	NA	2500	Gl.	2500	
EIA	NA	4300	Gl.	4300	
TOTAL				12300	1,04
Ecuilizador					
Pared de hormigón 30 cm de espesor	m2	45	319	14355	
Losa de base 45 cm espesor	m2	53	210	11130	
Aireador mecánico	u	15500	1	15500	
TOTAL				40985	3,46
API					

Separador API llave en mano (API-600)	u	225000	2	450000	
Bomba de lodos API	u	220	1	220	
Pilares de hormigón 50 cm de espesor	m2	75	30	2250	
TOTAL				452470	38,19
DAF					
Cámara DAF (DAF-600)	u	354000	1	354000	
Cámara de presurización (RSS-42300)	u	45000	1	45000	
Bomba dosificador de coagulante	u	210	1	210	
Bomba de lodos DAF	u	107	1	107	
TOTAL				399317	33,70
Lodos activos					
<i>Reactores biológicos</i>					
Pared de hormigón 30 cm de espesor	m2	45	616	27720	
Losa de base 45 cm espesor	m2	53	280	14840	
Difusores Repicky RG-300	u	27	344	9288	
Sopladores Repicky R500	u	3200	6	19200	
<i>Sedimentadores secundarios</i>					
Pared de hormigón 30 cm de espesor	m2	45	616	27720	
Losa de base 45 cm espesor	m2	53	280	14840	
Barredor	u	12500	2	25000	
Bomba recirculadora de lodos	u	2000	2	4000	
Bomba de purga de lodos	u	220	2	440	
TOTAL				143048	12,07
Cámara de cloración					
Pared de hormigón 30 cm de espesor	m2	45	95	4275	
Losa de base 45 cm espesor	m2	53	38,89	2061	
Bomba dosificadora de cloro	u	137	1	137	
TOTAL				6473	0,55
Cámara de muestreo					
Pared de hormigón 30 cm de espesor	m2	45	7,2	324	
Losa de base 45 cm espesor	m2	53	2,25	119	
Disipador de energía	u	50	1	50	
TOTAL				493	0,04
Sistemas de impulsión					
Bomba de impulsión de API a DAF	u	13020	1	13020	

Bomba de impulsión de DAF a Lodos activos	u	13800	1	13800	
TOTAL				26820	2,26
Conducciones					
<i>por gravedad</i>					
Cañería PVC DN 400 mm	m	35	39	1365	
Cañería PVC DN 280 mm	m	33	47	1551	
Cañería PVC DN 450 mm	m	44	6	264	
Cañería PVC DN 200 mm	m	27	7	189	
<i>por impulsión</i>					
Cañería PVC DN 250 mm	m	30	3	90	
Cañería PVC DN 180 mm	m	26	4	104	
Cañería PVC DN 150 mm	m	22	30	660	
Cañería PVC DN 140 mm	m	20	17	340	
<i>Accesorios varios</i>					
Accesorios varios (válvulas, codos, tramos de conexión, etc.)	Gl.	550	1	550	
TOTAL				5113	0,43
Mano de obra					
Jefe de obra	u	1	5000	5000	
Ingeniere ambiental	u	1	3700	3700	
Seguridad e higiene	u	1	3000	3000	
Construcción y puesta en marcha	u	30	2500	75000	
TOTAL				86700	7,32
Movimientos de suelo					
Preparacion terreno para bases unidades	m2	3	3600	10800	
Excavación conducciones	m3	30	11	330	
TOTAL				11130	0,94
TOTAL PTEL				1184850¹⁹	66,71
PARQUE SOLAR					
Equipamiento e instalación del parque solar*	W	672000	0,88	591360	
TOTAL PARQUE SOLAR				591360	33,29
TOTAL CAPEX				1776210	

*Este ítem incluye todos los equipos necesarios (módulos, estructuras, cables, protecciones, inversores, arena, ladrillo y cinta de peligro para los tendidos de cable subterráneo...) además de la mano de obra y las fundaciones de hormigón. En el caso de que haya que remover algún sector del suelo serían un costo extra a tener en cuenta.

¹⁹ Cabe mencionar que una inversión económica para una planta de tratamiento como la de este proyecto, por el gran caudal y por los contaminantes a tratar, puede llegar a estar varios órdenes de magnitud por arriba del valor enunciado.

En el caso del parque solar, el valor fue obtenido de una empresa que se mantiene de forma confidencial ya que no se maneja con lista de precio pública pero el valor de USD/W está dentro del valor de mercado solar argentino de enero 2022. El mismo incluye no sólo el equipamiento, sino también la instalación y puesta en marcha del parque. Cabe aclarar que, si las estructuras se hubiesen podido hincar directamente en el suelo, sin la necesidad de fundaciones de hormigón, el valor hubiese sido menor, de aproximadamente 0,84 USD/W.

9.2. OPEX

El término OPEX proviene del inglés "*Operational expenditures*". Este costo corresponde a los costos recurrentes de la planta de tratamientos y del parque solar. Son gastos operativos. Los mismos corresponden por ejemplo al mantenimiento de las unidades, la compra de los insumos, el costo del personal de planta, el tratamiento de los residuos y el costo energético entre otros.

Los costos operacionales tanto de la PTEL como del parque solar se pueden observar en la tabla 29 a continuación. Los valores fueron obtenidos de distintos proveedores, profesionales y páginas web profesionales. Para el costo energético de la PTEL se utilizó el tarifario de EDEN SA. La refinería corresponde a la tarifa T3MT ya que es un suministro en media tensión y un usuario final mayor a 300 kW de demanda. La tarifa depende del rango horario donde se consume la energía. Los distintos valores se observan a continuación.

Tabla 28: Valores de energía vendida por EDEN SA en función del rango horario

Nombre	\$/kWh	Rango horario	USD/kWh
energía pico	6,5093	18 a 23	0,060
energía resto	6,252	5 a 18	0,058
energía valle	5,9927	23 a 5	0,055
Valor promedio de la energía			0,058

Para realizar el costo mensual energético, se utilizó el valor promedio de la energía ya que la misma es relativamente constante a lo largo de la jornada. Para el costo mensual de ahorro generado por el parque se tomó el valor del horario resto ya que es en ese rango horario donde se genera la energía solar fotovoltaica.

A continuación, se observa en la tabla 29, los costos mensuales de la PTEL y el parque solar. El valor mensual de operación y mantenimiento es de **USD 45.377 + IVA**. Dentro de este valor, la disposición de lodos es el valor que más afecta al total ya que son residuos peligrosos.

Tabla 29: OPEX de la PTEL y el parque solar

Artículo o Tarea	Unidad	Costo unitario (USD + IVA)	Cantidad	Costo Total mensual (USD + IVA)
PTEL				
Consumo energético				
Consumo energético mensual*	kWh/mes	0,058	84191	4883
Consumo energético ahorrado por la PTEL	kWh/mes	-0,058**	85725	-4972
TOTAL				-89
Insumos				
Hipoclorito de sodio	L/mes	0,6	159	95
ECOFLOC C0125S	L/mes	1,3	6595	8574
TOTAL				8669
Lodos				
Disposición final de lodos	m3/mes	24	916	21847
TOTAL				21847
Mano de obra				
Jefe de Planta	u	1500	1	1500
Operarios de la planta	u	950	9	8550
Personal laboratorio	u	1300	1	1300
Personal de limpieza	u	800	2	1600
TOTAL				12950
Otros				
Mantenimiento unidades	u	2000	GI.	2000
TOTAL				2000
TOTAL PTEL MENSUAL				45377
TOTAL OPEX MENSUAL				45377

*Este consumo energético es el consumo energético variable. Luego, a este valor se le suman los impuestos pertinentes además de sumar a la potencia contratada total que posee un cargo fijo para la refinera. De todas maneras, como la potencia total de la PTEL es baja en comparación a todo el complejo industrial este monto es insignificante no modificando posiblemente la potencia contratada por la refinera.

**Para este valor no se tomó el promedio de la tarifa sino el valor del horario resto que es cuando los módulos generan la energía.

Cabe aclarar que, el costo operacional mensual del parque solar es básicamente nulo ya que su mantenimiento sólo involucra una limpieza anual o cada seis meses con agua para evitar pérdidas por suciedad que puede ser realizado por el personal de limpieza de planta o de manera tercerizada. Luego, cualquier gasto ocurriría sólo en el caso de que hubiera alguna falla en el sistema, esto no se tiene en cuenta en el gasto OPEX. De todas maneras, se dejó un valor de mantenimiento de unidades de USD 2.000 + IVA por mes para este tipo de imprevistos tanto de la PTEL como del parque solar. Por otro lado, el valor mensual energético variará mes a mes ya que en enero se generará más energía fotovoltaica y en julio menos pero es un valor promedio mensual que representa un anual.

9.3. Análisis retorno de inversión (ROI) parque solar

Para hacer el análisis del retorno de la inversión del parque solar, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- 15% de aumento anual de la tarifa en los primeros 5 años, luego se mantiene de manera estable
- una degradación anual del panel de 0,02%
- un costo de la energía teniendo en cuenta los impuestos de USD 70 el MWh

Teniendo en cuenta esto último se observa que la inversión se recupera en a los **5 años** con una TIR de **22,60%**. El flujo de fondos se observa en el gráfico a continuación.

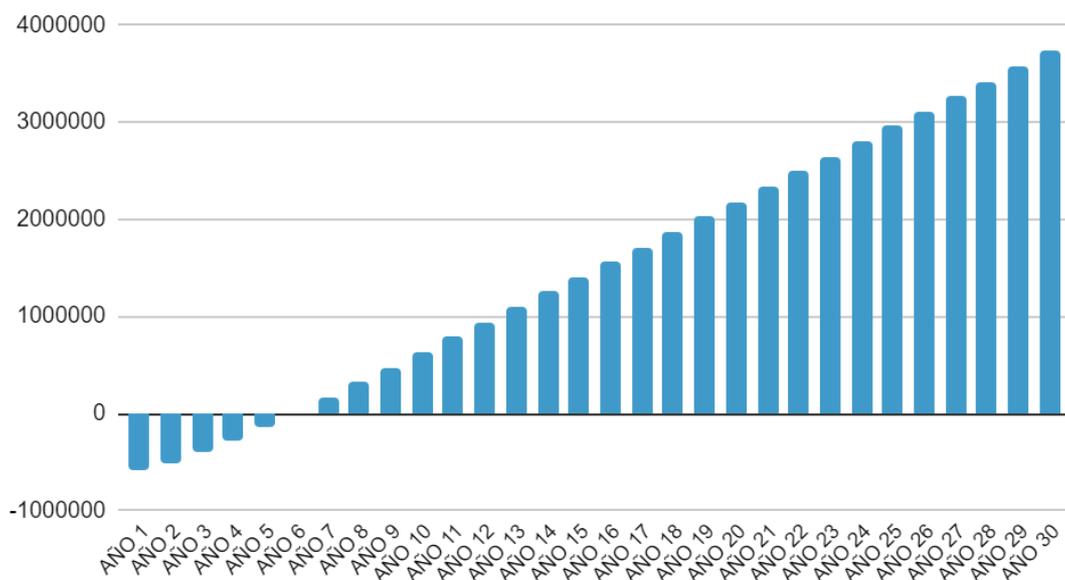


Figura 81: Flujo de fondos del parque solar en su vida útil (Fuente: Elaboración propia)

Se puede concluir que el proyecto del parque solar es rentable ya que posee un ROI de 5 años y luego genera sólo ganancias. Además de ser bueno para el medio ambiente, es un proyecto que es más que rentable económicamente.

9.4. Costo ambiental parque solar

Otra manera de ver los beneficios “económicos” del parque solar es teniendo en cuenta el valor de los bonos de carbono. El valor es variable y depende del mercado de los bonos de carbono. Tomando de referencia el valor de enero 2022, el mismo ronda los USD 80 por tonelada de CO₂ equivalente emitida. Como se mencionó anteriormente, el parque en toda su vida útil evita emitir 7.000 toneladas de este gas por lo que estaría, desde un punto de vista de coste ambiental, ahorrando **USD 560.000**, siendo casi la totalidad del CAPEX del parque.

9.5. Costos del tratamiento tercerizado del efluente líquido y análisis de factibilidad PTEL

Con respecto a la PTEL, otra manera de analizar la viabilidad económica de la misma es comparando cuánto valdría tercerizar el tratamiento del efluente ya que, como se mencionó con anterioridad, tratarlo es obligatorio por ley.

Por más de que el efluente sea líquido, al estar cargado con hidrocarburos, es considerado como un residuo peligroso Y9, tratar el mismo ronda los USD 24 + IVA por cada m³. Es decir que sería un coste mensual de USD 201.600 + IVA. Sin necesidad de hacer mucho análisis, se observa que esta posibilidad no es para nada viable ya que en sólo 9 meses ya se llegaría a pagar el total de la inversión de la PTEL (un poco más si se tiene en cuenta el costo OPEX de la PTEL) que posee una vida útil muchísimo mayor a 9 meses. Esto último es tan claro no sólo porque es un planta con un caudal diario relativamente alto sino también porque al poseer hidrocarburos su tratamiento tercerizado es altísimo haciendo imposible este tipo de solución desde un punto de vista económico y logístico.

10. Evaluación de impacto ambiental (EIA)

En este punto del proyecto, se presenta la Evaluación de impacto ambiental (EIA) ya que la ley 11.723, y su decreto Modificatorio N° 4.371/95, enuncia que “todos los proyectos

consistentes en la realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deberán obtener una declaración de impacto ambiental (Ley 11.723, OPDS, 2010)". Esta declaración puede ser obtenida luego de la aprobación de la EIA.

El objetivo general de esta EIA incluye la identificación, evaluación y propuesta de medidas y acciones de monitoreo, control y corrección de los efectos e impactos negativos significativos que pudieran ser generados por las distintas etapas de este proyecto.

10.1. Metodología

El desarrollo de esta EIA consistió en la recopilación y posterior análisis de la información disponible sobre el entorno geográfico y medio ambiental del lugar en el cual se va a emplazar el proyecto además de la normativa vigente pertinente. Se usaron tanto datos brindados por la compañía contratante como datos de organismos especializados tales como el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), entre otros.

Luego, se realizó una evaluación de los impactos ambientales potenciales generados por la ejecución del proyecto. Para poder lograr ésto se identificaron los distintos impactos en cada etapa y se analizaron a través de una matriz de Leopold según la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández- Vítora (1997, Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental).

Finalmente, se elaboró un plan de gestión ambiental con un plan de contingencias para evitar posibles catástrofes.

10.2. Descripción del proyecto

10.2.1. Nombre del Proyecto

“Proyecto: Planta de tratamientos de efluentes líquidos de una refinería en la Plata con un parque solar asociado”

10.2.2. Ubicación y acceso al sitio del Proyecto

El proyecto se emplaza en Argentina, en la capital de la provincia de Buenos Aires, La Plata, a 4 km del Puerto La Plata. Se encuentra en el partido de Berisso y ocupa un espacio

de 1 ha dentro de lo que es la refinería que ocupa 249 ha. Es decir que el proyecto ocupa un **0,4%** del espacio total de la refinería.



Figura 82: Ubicación de la nueva refinería en La Plata y del espacio disponible para este proyecto en cuestión, coordenadas 34°54'30"S, 57°53'22"W (Fuente: GoogleEarth, Elaboración propia)

La región del Gran La Plata, ubicada a 60 km al sur de la ciudad de Buenos Aires, comprende los partidos de La Plata, Ensenada y Berisso, jurisdicción municipal dentro de la cual se ubica el proyecto, conformando desde el punto de vista de los procesos socioeconómicos y políticos un conglomerado urbano con dinámicas en común.

Berisso es un centro industrial que cuenta con varias industrias manufactureras que producen más del 60% de su PBI. El sistema portuario es muy importante en el desarrollo económico y social además de formar parte de la identidad local.

Para ingresar a la localidad de Berisso desde la ciudad de Buenos Aires se debe tomar la Autopista Buenos Aires- La Plata (denominada también como Ruta Nacional 1 o Autopista Dr. Ricardo Balbín). Luego, continuar por la Ruta Provincial 11 que se conecta con la Avenida Río de la Plata. Una vez en la Av. Río de la Plata, continuar por la misma por 2,6 km hasta la entrada principal de la refinería. Una vez dentro de la misma, por las calles internas se debe circular 1 km hacia el Sudoeste para llegar a la PTEL y el parque solar. Este recorrido se observa en la figura 83 a continuación.

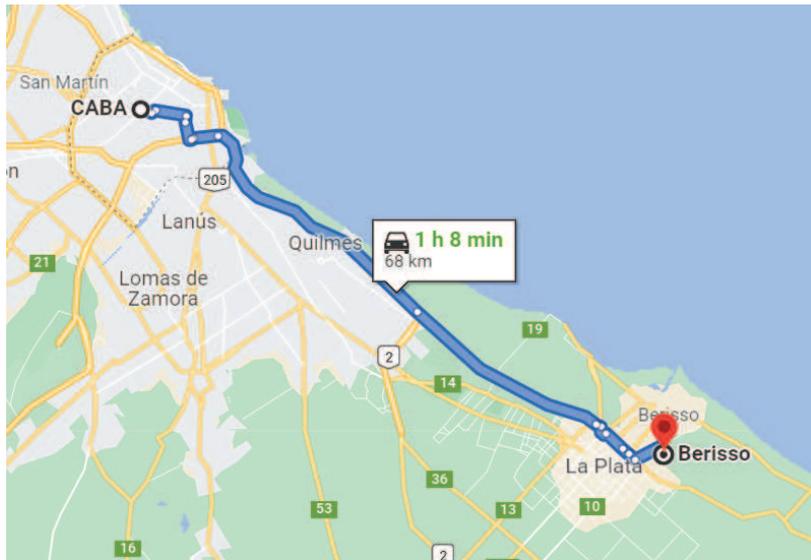


Figura 83: Se observa el camino para llegar al emplazamiento del proyecto (marcador rojo) (Fuente: Google Maps)

Los distintos accesos a la localidad de Berisso también se pueden observar en la imagen a continuación.



Figura 84: Accesos a la localidad de Berisso (Fuente: ARS, 2019)

Otro acceso posible, que se observa en la figura 84, es el marítimo llegando al puerto de La Plata que se encuentra a 5 km del emplazamiento del proyecto.

El lugar de emplazamiento del proyecto fue cedido por el municipio de Berisso.

10.3. Memoria técnica del proyecto

10.3.1. Etapas del proyecto y su vida útil

El proyecto contempla tres grandes etapas: construcción, operación y cierre. El inicio de la construcción, y por ende del proyecto, está condicionado a la fecha de aprobación de la EIA por parte del municipio de Berisso y de la empresa contratante. En principio, se estima que el inicio del proyecto podría ser a principios del 2023.

10.3.1.1. Etapa de construcción

Durante la primera etapa, se realizará la construcción e instalación de las obras requeridas por el proyecto. Esto último, incluye la preparación del terreno con su destape y nivelación en el caso de ser necesario aunque al ser casi plano estas tareas serán mínimas. Esta etapa tendrá una duración estimada de 1 año ya que la instalación de los paneles solares se realizará en simultáneo con la construcción de la PTEL. El terreno donde irán los módulos fotovoltaicos prácticamente no debe ser preparado ya que el estado inicial del mismo es suficiente al no poseer casi vegetación, en el caso de la PTEL si ya que es imperioso por el cimiento y por la nivelación del mismo.

También, se debe realizar la contratación de bienes y servicios y la construcción de los distintos elementos que componen el parque solar y la PTEL. Es importante que la mano de obra posea responsabilidades bien definidas y que posean las capacitaciones necesarias.

Los materiales ingresarán por la Avenida Río de La Plata y no se abrirán nuevos caminos ya que la refinería se encuentra en un lugar perfectamente accesible para los camiones de carga y descarga. Se instalará un cerco perimetral y señalización para evitar el acceso al área de personas no autorizadas a la instalación y carteles de peligro en el caso de ser necesario.

Se realizará la construcción de cimientos y bases con las correspondientes operaciones de excavación, encofrado, hormigonado y curado. Por otro lado, se llevará a cabo la excavación para el tendido de conductores y cables. Se deberán colocar todas las unidades

de la PTEL, las estructuras de los módulos fotovoltaicos que irán hincadas en el suelo, las fundaciones de hormigón para las estructuras y todas las conducciones y cableados correspondientes. Además, se colocarán todos los elementos de monitoreo necesarios para utilizar durante todas las etapas del proyecto.

Finalmente, se realizará la puesta en marcha tanto de la planta como del parque.

10.3.1.2. Etapa de operación

Esta es la etapa principal del proyecto, donde se realizará el tratamiento de los efluentes de la planta y la generación de energía por parte de los paneles fotovoltaicos. Esta etapa se extenderá por 30 años determinados a partir del término de la etapa de construcción. Cabe aclarar que esta etapa está pensada que supere la cantidad de años estipulados ya que debe funcionar siempre y cuando lo haga la refinería. Se colocan 30 años ya que en esa cantidad de tiempo ya casi todas las unidades deberán ser cambiadas o modificadas. En el caso de la planta solar, los módulos fotovoltaicos poseen esa vida útil. La vida útil de los inversores puede ser la misma que la de los módulos, pero en ocasiones debe ser cambiado con anterioridad a los 20 o 25 años.

En esta etapa se deben incluir las tareas de mantenimiento tanto de las unidades de la PTEL como las del parque solar. Las mismas se realizarán tanto de manera preventiva como de manera necesaria en el caso de haber alguna avería. Las mismas no generarán ningún impacto.

10.3.1.3. Etapa de cierre

Se prevé que las actividades de cese y abandono continuarán durante un año después del término de la etapa de operación. Una vez ejecutadas las actividades de cese, seguirá un período estimado de 2 años de monitoreo ambiental, antes del abandono definitivo. Probablemente esta etapa se realice una vez se cierre definitivamente la refinería o haya un cambio de localización de la PTEL en un futuro más lejano ya que la planta siempre debe funcionar pero el recambio de la PTEL formaría parte de otro proyecto con su propia EIA asociada por lo que, a fines de este proyecto, se asumirá el fin de la PTEL como si no se fuese a construir otra en su lugar. El parque solar si debería ser cambiado en su totalidad ya que luego de 30 años los paneles solares ya disminuyen mucho su eficiencia y hay tecnologías más avanzadas que toman su lugar.

En esta etapa, se realizará la limpieza del sitio y la nivelación del terreno. Es fundamental que al finalizar esta etapa el paisaje vuelva a ser lo más cercano al inicial. Si es necesario se deberán hacer rellenos para recuperar las geoformas con el suelo correspondiente, idealmente obtenido de suelos próximos a la zona del proyecto.

Se realizará el desmontaje de equipos y materiales y se demolerán las infraestructuras que no puedan ser reutilizadas para otro fin.

10.3.2. Equipamiento necesario

El equipamiento necesario para las etapas del proyecto son múltiples. Para la etapa de construcción, se utilizarán retroexcavadoras, motosierra, vallado, señalizaciones.... Se construirán almacenes para acopio de áridos, insumos y maquinaria, el taller de mantenimiento y el comedor para los trabajadores. Para ello, se requerirán distintos materiales y maquinaria como niveladoras, compactadoras, camiones, andamios, martillos, mezcladoras, taladros, amoladoras, equipo de soldadura, entre otros.

En la etapa de operación, se utilizarán mayormente insumos como coagulantes e hipoclorito de sodio. En la etapa de cierre se utilizarán algunos equipamientos como los usados en la etapa de construcción para poder rellenar los suelos y recuperar el paisaje.

En todas las etapas se debe utilizar combustible para los camiones y maquinaria además de aceites lubricantes que serán obtenidos de La Plata.

10.3.3. Personal a contratar, abastecimiento de agua y energía

Para la contratación del personal, se priorizará la mano de obra local generando empleo en las zonas colindantes. Durante todo el proyecto, se emplearán 30 personas, dentro de las cuales se buscarán operarios, ingenieros, técnicos y transportistas. Para la etapa de operación, se contratarán 13 personas para las tareas de gerencia, operación y mantenimiento además del personal de laboratorio y de limpieza.

Como se mencionó anteriormente, la energía eléctrica será provista por la cooperativa de la zona EDEN SA. Para la provisión de agua de lavado y mantenimiento de los paneles, se utilizará la red de agua municipal. El agua potable para los trabajadores se obtendrá de la red de agua brindada por ABSA.

10.3.4. Residuos, efluentes y emisiones

Para todos los residuos y efluentes generados se realizarán los contratos pertinentes para su correcta disposición final.

10.3.4.1. Efluentes líquidos

Por un lado, en todas las etapas, se generan aguas residuales domésticas (ARD) a causa de las necesidades higiénicas de los trabajadores. Estos son enviados a la red cloacal manejada por ABSA.

En la etapa de operación se generan efluentes que son tratados en la misma PTEL. Para los efluentes generados en los insumos químicos del DAF y en el sistema de lodos activos, los mismos se disponen como residuos peligrosos gracias a la empresa La Estrella Transbar.

10.3.4.2. Efluentes sólidos y semisólidos

En la etapa de construcción, se realizarán actividades de remoción de vegetación y suelo, que será utilizada para la reforestación, por ello se almacenarán cerca del predio. También se generará basura de bolsas de papel (cemento), recortes de varillas, madera y restos de mezcla además de recortes de hierro. Este material será depositado en camiones para su traslado hacia el basurero municipal.

Durante la operación, la basura que se genere por las actividades, se separará en residuos generales (reciclables y no reciclables) y residuos peligrosos. Los residuos generales no reciclables serán llevados al basurero municipal cada dos días gracias al municipio. Éstos a su vez serán depositados en el relleno sanitario del CEAMSE, operado por la empresa ESTRANS S.A. sobre la RP 11. Los residuos peligrosos serán depositados temporalmente en un almacén, siguiendo las condiciones y requisitos mínimos para el almacenamiento establecidos por la resolución 177/17 de la Ley Nacional 24.051 y posteriormente se entregarán a La Estrella Transbar para su deposición final y tratamiento. Lo mismo ocurrirá con los lodos generados en las distintas unidades de la planta que serán, luego de ser centrifugados, almacenados y entregados a la Estrella Transbar.

En todas las etapas, también se generarán residuos sólidos del tipo urbano producido por los trabajadores de las distintas etapas tales como plásticos, envoltorio y papeles. Los

residuos reciclables serán separados y retirados por el municipio de Berisso dos veces por semana.

Los restos de cables y scrap metálico en general serán acopiados dentro del AID del proyecto en un sector delimitado e identificado y retirados regularmente para su comercialización a empresas especializadas para su reutilización.

10.3.4.3. Emisiones gaseosas, ruido y vibraciones

En las etapas de construcción y cierre se generará el movimiento de maquinarias y equipos, desde y hacia la obra, y en el sitio de obra, los movimientos de suelos y la realización del zanjeo generarán material particulado que, en función del diámetro de partícula sedimentará en proximidades del sitio donde se genere, causando contaminación atmosférica. También se emitirán gases de combustión emitidos por la maquinaria y vehículos empleados. Los vehículos también se ven en la etapa de operación, sobre todo en el transporte de residuos.

En la etapa de operación, puede existir emisión de malos olores provenientes de los efluentes tratados. Para evitar la evaporación de hidrocarburos las unidades API y DAF estarán cubiertas.

A su vez, el tráfico de vehículos junto con el movimiento de maquinaria es considerado como una fuente móvil difusa. Respecto a la alteración de la calidad química del aire, ésta se verá afectada por la emisión de gases de combustión (CO_2 , NO_x y SO_2), producto del escape de los vehículos de transporte y del uso de la maquinaria pesada. Sumado a las emisiones gaseosas, las maquinarias utilizadas a lo largo del proyecto, los camiones generan emisiones sonoras. A su vez, el movimiento de maquinaria y las excavaciones traerán aparejadas vibraciones que se transmiten a través del suelo.

Dado el carácter puntual, esporádico y difuso de las emisiones atmosféricas, éstas se consideran poco significativas.

10.4. Caracterización ambiental (línea de base) del área de influencia del proyecto

10.4.1. Área de influencia directa e indirecta

El área de influencia de un proyecto está determinada en su totalidad por el área de influencia directa (AID) e indirecta (AI) del mismo.

10.4.1.1. Área de influencia directa

Se define como AID, al espacio físico que será ocupado en forma permanente o temporal durante la construcción y operación de toda la infraestructura requerida. También son considerados los espacios colindantes donde un componente ambiental puede ser persistentemente o significativamente afectado por las actividades desarrolladas durante las etapas del proyecto.

Para delimitar esta área se tuvieron en consideración la magnitud de la instalación, los aspectos ambientales asociados, los riesgos y los factores ambientales afectados considerando su sensibilidad e importancia. Dentro de estos últimos se tuvieron en cuenta más que nada las emisiones gaseosas, los posibles derrames y los riesgos de incendios y/o explosiones además de las inundaciones.

Respecto a los aspectos ambientales más importantes se consideró: emisiones gaseosas, derrames superficiales y subterráneos, riesgos de incendio y explosión. En cuanto a los factores ambientales se tuvo en cuenta la geografía del área y los usos del suelo. A su vez se consideró los vectores de transporte para contaminantes potenciales identificados, la presencia de barreras naturales para la migración de contaminantes y la localización de elementos clave del entorno, entre otros.

El AID de este proyecto consta de la hectárea destinada para el mismo y se estimó un círculo de radio de 4 km que incluye al Canal Este donde desemboca la PTEL además de las zonas donde las emisiones gaseosas pueden llegar. La misma se observa en la imagen a continuación.

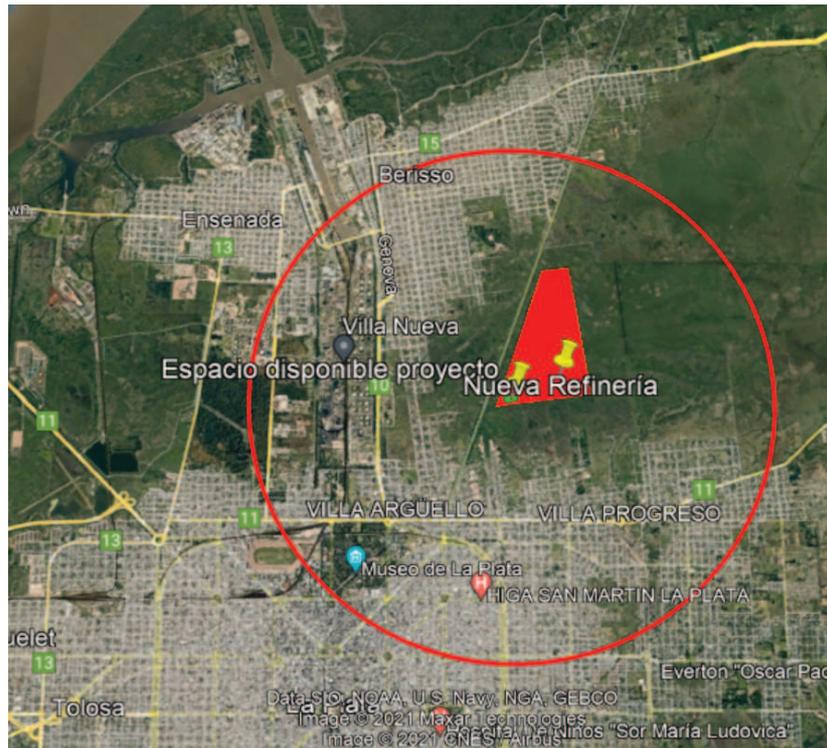


Figura 85: AID del proyecto. La misma se encuentra dentro del círculo marcado en rojo y posee un radio de 4 km (Fuente: Elaboración propia, Google Earth)

10.4.1.2. Área de influencia indirecta

En cuanto al AII, se tiene en cuenta hasta donde llegan los efectos producidos por el proyecto incluyendo aspectos como las dinámicas de la sociedad y los impactos socioeconómicos.

Al ser este proyecto una gran inversión, que dará trabajo y concesiones, se toma como área de influencia indirecta no sólo al municipio de Berisso sino al Gran La Plata ya que tanto insumos como mano de obra provendrán de todo este sector.

10.4.2. Climatología

10.4.2.1. Estación meteorológica de referencia

Para la caracterización climática del área (parámetros de temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos) se utilizaron datos correspondientes a la estación meteorológica La Plata Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuyas coordenadas geográficas son 34,58° S y 57,54° O. Dicha estación se encuentra dentro del AII del proyecto.

10.4.2.2. Temperatura y humedad relativa

Según los valores climatológicos medios de 1981-2010, la temperatura media anual es de 17 °C siendo el mes de enero el más cálido con una temperatura media de 22°C y julio el mes más frío, con una media de 10,5 °C. El clima es templado-húmedo con inviernos suaves y veranos calurosos. La humedad relativa promedio anual es de 77,25 %. Los meses de otoño e invierno (abril, mayo, junio, julio y agosto) registran los valores más altos, siendo junio el que presenta el valor máximo (83,1 %). Los valores más bajos se registran en los meses de primavera y verano, siendo diciembre el mes con menor humedad relativa (69 %).

La variación de temperatura anual se puede observar en la figura 86.

10.4.2.3. Precipitaciones

El régimen pluviométrico es de tipo isohigro, es decir que las lluvias se reparten uniformemente durante el año, con una precipitación media de 1.100 mm anuales. Las mayores precipitaciones ocurren principalmente en el período de noviembre a abril, con una leve disminución de la cantidad de lluvia en los meses de invierno. Las tormentas conocidas como “Sudestadas” producen inundaciones en el Río de la Plata y tienen una frecuencia de ocurrencia de 2 a 3 eventos por año (Simionato et al., 2011).

La variación de las precipitaciones mes a mes pueden observarse en la imagen a continuación.

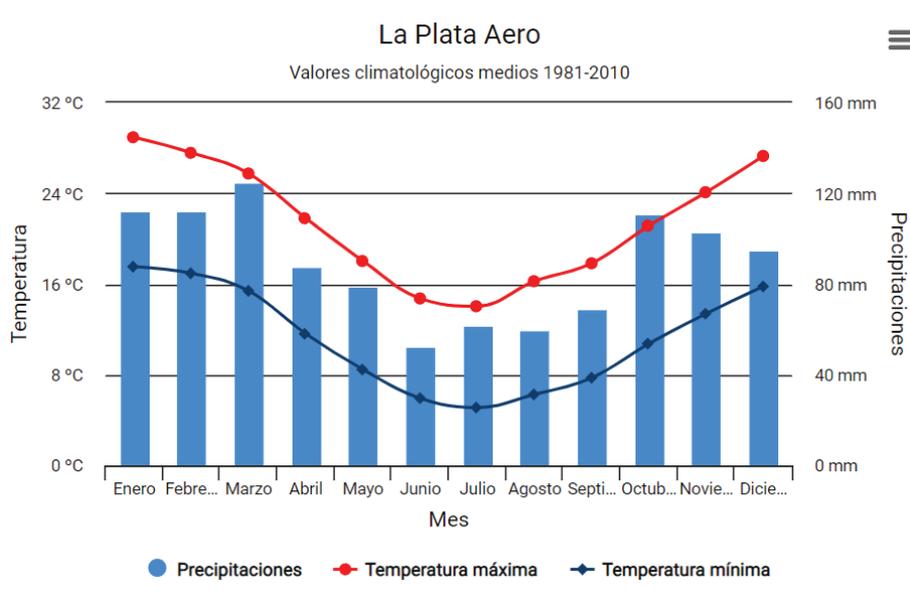


Figura 86: Gráfico donde se puede observar las precipitaciones y temperaturas mínimas y máximas (Fuente: SMN)

10.4.2.4. Vientos

A diferencia de las precipitaciones, la velocidad del viento tiene gran variabilidad dentro de la región. En general, las mayores velocidades se observan durante el verano y las mínimas en el invierno. Con respecto a la dirección de los vientos, en verano la dirección más frecuente corresponde a la del sector NE-E, mientras que en invierno aumenta la frecuencia de vientos provenientes del sector S-O (Camilloni y Barros, 2004).

Además de los vientos permanentes provenientes del anticiclón del Atlántico Sur, dentro de la región circulan vientos locales, que producen efectos regionales. Entre los vientos locales se encuentran la Sudestada, el Pampero y el Viento del Norte. La velocidad media anual de los vientos, registrada en La Plata, es de 14,4 km/h. Las mayores velocidades se registran durante el período septiembre-enero. Octubre es el mes que presenta la velocidad media mensual más alta (16,6 km/h).

Es fundamental tener en cuenta el fenómeno de la sudestada al estar el proyecto tan cercano al Río de La Plata ya que la misma puede provocar inundaciones al aumentar el nivel del agua. Este fenómeno se genera por los vientos provenientes del SE y está generalmente acompañado por temperaturas relativamente bajas y precipitaciones de variada intensidad. La velocidad de los vientos ronda los 20 a 40 km/h, en el caso de las sudestadas leves, y de más de 70 km/h en los casos más intensos. La duración de la sudestada es normalmente de 1 a 3 días pero puede llegar a extenderse hasta 6 (Kreimer et al., 2001).

A continuación, se puede observar la rosa de los vientos de la zona del proyecto.

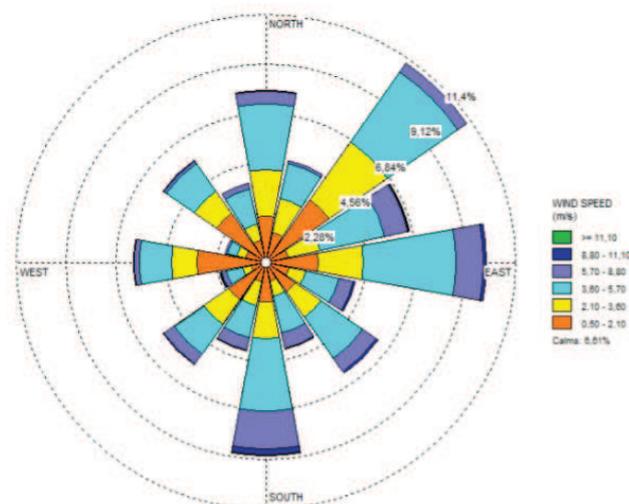


Figura 1 Rosa de los vientos anual, 2017

Figura 87: Rosa de los vientos anual de La Plata (Giuliani, 2020)

10.4.3. Hidrografía superficial

La región donde se localiza el proyecto corresponde a la Cuenca del Río de La Plata. Al estuario de este río drenan los cursos de agua de la Pampa Ondulada, como el arroyo Miguelín, el canal Villa Elisa, el canal del Gato, también conocido como arroyo El Zanjón, y el Río Santiago. Existen dos canales artificiales que se unen al Río Santiago llamados canal Oeste y canal Este (Cabral et. al., 2016). El canal Este es el que se encuentra más cerca de la PTEL y donde se vuelcan los efluentes de la misma.

El partido de Berisso se localiza en el área de influencia estuárico-marina, también denominada llanura costera o planicie costera, que se corresponde con la planicie natural de inundación del estuario del Río de la Plata (Cabral et. al., 2016). La región se caracteriza entonces por presentar una zona más alta, de relieve llano (Llanura Alta) con alturas que van desde los 5 a los 30 m s.n.m, caracterizada por suelos bien drenados. Luego, existe una zona baja (Planicie costera) que se caracteriza por presentar suelos mal drenados, como el Bañado Maldonado, el cual, junto con el Río de la Plata conforman el área de descarga superficial y subterránea de la Llanura Alta. Se desarrolla paralela a la línea de costa con alturas por debajo de los 5 m s.n.m. El límite entre las dos zonas morfológicas se encuentra a lo largo de la R.P 11 y las vías del FF.CC, hacia el este y oeste respectivamente (García y Zanandrea, NE).

Además, el Río Santiago tiene una serie de cauces de corto desarrollo: los arroyos Doña Flora, La Fama y El Zanjón. Tanto el Río Santiago como los tramos de la desembocadura de los cursos de agua mencionados son de régimen permanente. Sus caudales están regulados por la marea, las sudestadas y por las precipitaciones en la cuenca alta.

Las intensas lluvias de verano originan inundaciones que abarcan gran parte de la ciudad de La Plata, especialmente la zona asociada a la cuenca inferior del sistema. Este fenómeno se agrava durante los eventos de sudestada debido a que el aumento de nivel del Río de La Plata obstaculiza el drenaje del sistema, generando el endicamiento de las aguas provenientes de la llanura alta.

En la figura 88 a continuación, se pueden observar las cuencas del partido de La Plata que drenan hacia el Río de la Plata, haciendo más vulnerable la Planicie de Inundación Costera, donde se asientan los municipios de Berisso y Ensenada (Cabral et. al., 2016).

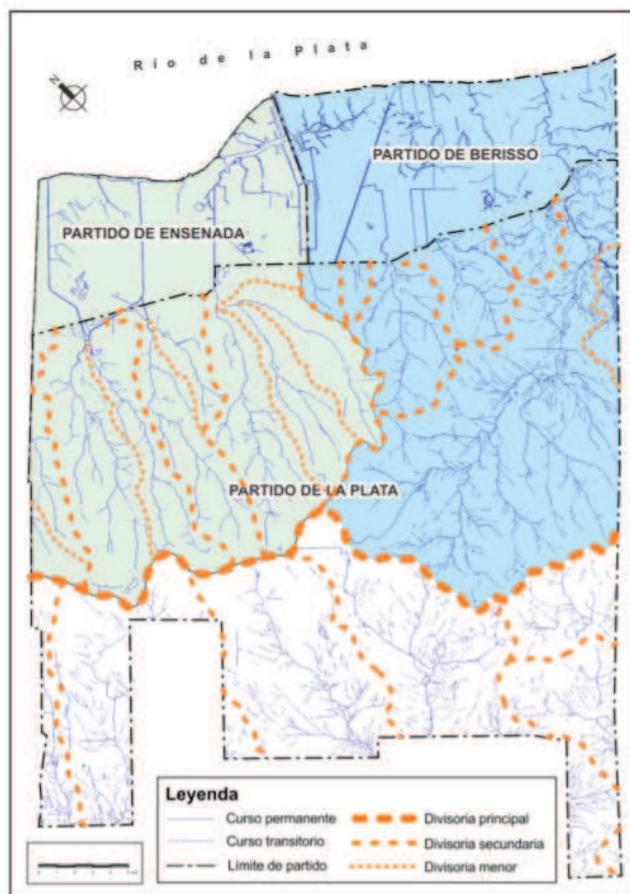


Figura 88: Cuencas de aportes hídricos desde la Plata hacia Ensenada y Berisso (Fuente: Cabral et al., 2016)

Por esta razón, en el plan de contingencias es importante que se tengan en cuenta a las inundaciones como posibles catástrofes de alta frecuencia.

El Río de La Plata es el curso de agua más importante de la zona. Se origina de las descargas del Río Paraná y el Río Uruguay, junto con la entrada de una lengua de mar en un terreno deprimido y que forma el estuario. Su caudal medio de descarga es de 25.000 m³/s.

Respecto a los partidos de Ensenada y Berisso, la hidrografía superficial de la Planicie costera, posee un área plana, surcada de canales, zanjones y cañadas íntimamente relacionada tanto con la geomorfología de la región, como con las mareas que afectan al estuario del río de la Plata y los derrames provenientes de las cuencas de los arroyos que se desarrollan dentro de los partidos de La Plata y Magdalena. De estos cursos, sólo el arroyo del Pescado excava su cauce en la Planicie Costera de Berisso y llega al río, en parte a través de un canal realizado en la Llanura Aluvional y en parte al unirse con el arroyo La Maza, antigua cabecera del río Santiago. Los otros cursos se insumen en el

bañado Maldonado, en Berisso o en el de La Ensenada. El Río Santiago es uno de los principales cursos naturales que fluye prácticamente paralelo al río de La Plata al cual está conectado mediante el Canal de Acceso al puerto de La Plata y una red de avenamiento natural que fue modificada para vehiculizar más rápidamente las aguas. Este canal posee un ancho de 200 m y separa a la isla Paulina de la isla Santiago. La isla Paulina corresponde al partido de Berisso mientras que la Santiago pertenece a Ensenada. Las mismas fueron separadas cuando se construyó el canal de acceso al Puerto de la Plata a fines del siglo XIX. En Berisso, el bañado Maldonado, está conectado a su vez al río por varios canales que atraviesan la zona urbanizada, como el Canal Oeste, o los canales que se encuentran a ambos lados de la cloaca máxima que sale desde la calle 66 de La Plata hasta Palo Blanco, además de los canales Menna, Castelli, Delgado, Napoleone y La Bellaca. (Cabral et. al, 2016)

La hidrología superficial del municipio de Berisso se puede observar en la imagen a continuación:

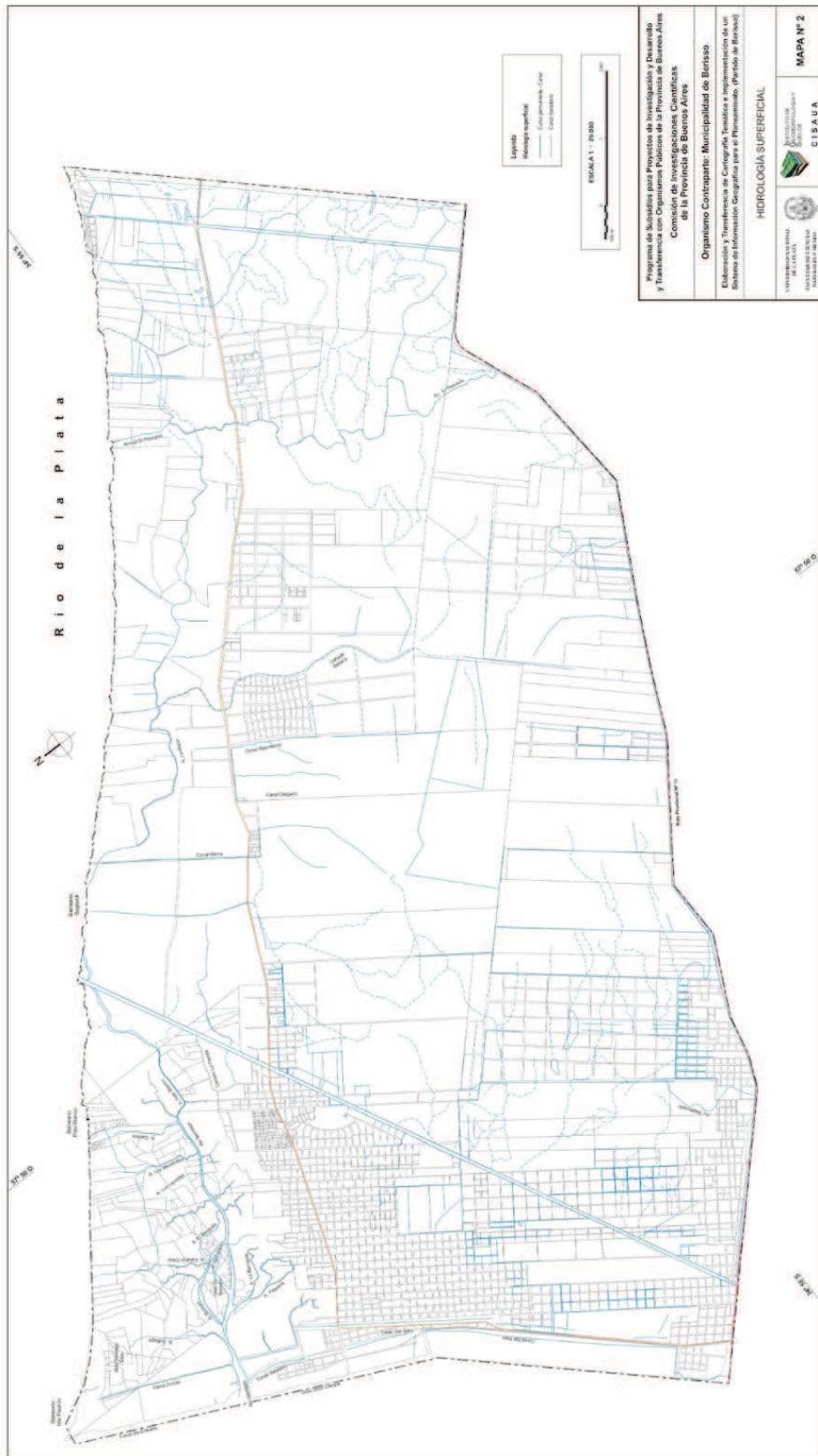


Figura 89: Hidrología superficial del partido de Berisso (Fuente: <http://www.berisso.gov.ar/pdfs/mapas/cartografia.pdf>)

10.4.3.1. Calidad del agua superficial

En el caso de este proyecto, no se realizaron estudios específicos para el área por lo que los datos fueron obtenidos de bibliografía.

Los efluentes del proyecto son volcados al canal Este que, como se mencionó anteriormente, nace del Río Santiago. La calidad del agua del mismo se ve influenciada por los arroyos de la cuenca y también por el Río de la Plata. La cuenca donde está el proyecto se conoce también como Franja Costera del Sur. Dentro de la zona próxima al proyecto los principales contaminantes proviene de dos orígenes según Carsen, 2003:

- El Colector Mayor de Berisso que vuelca sus efluentes cloacales sin tratamiento previo correspondientes a aproximadamente 200.000 personas
- Río Santiago (Arroyo El-Gato-Zanjón y Canal Oeste) que recibe aportes de efluentes tanto de origen industrial como cloacal.

Para conocer la calidad del agua del Río Santiago, es importante entonces conocer la calidad de la cuenca de los arroyos el Gato y Pescado. Sus características fisicoquímicas se pueden observar en la figura a continuación.

Parámetro	Arroyo El Pescado			Arroyo Del Gato		
	Min	Max	Mediana	Min	Max	Mediana
pH	7.6	8.9	8.2	7.6	7.9	7.84
Oxígeno disuelto	4.8	6.9	6.2	1.4	7.2	3.05
conductividad	344	4300	836	850	1138	1023
Sol. disueltos	213	2666	518	527	706	635
alcalinidad	100	400	300	180	500	410
cloruros	23	976	65	59	78	71
nitritos	-	-	<0,01	2.25	3.64	3.00
amonio	0.19	0.27	0.19	0.18	1.96	1.00
DQO	42	156	52	45	75	59

Figura 90: calidad del agua superficial de los arroyos El Pescado y Del Gato (Bazán et. al., 2011)

En la figura 90, no se observan datos sobre metales pero algunos estudios demuestran que hay presencia de aluminio, cobre, cromo y zinc en valores superiores al estándar en el canal El Gato además de bajo oxígeno disuelto.

10.4.4. Hidrogeología e Hidrografía subterránea

En la zona del proyecto los dos acuíferos presentes son el Puelche y el Pampeano. Desde el punto de vista hidrogeológico, los dos acuíferos se consideran dos unidades superiores distintas denominadas Arenas Puelches y Sedimentos Pampeanos. El nivel superior, denominado Pampeano está integrado por limos, y en forma subordinada por arenas y arcillas de color castaño rojizo, presentando con frecuencia concreciones o bancos de carbonato de calcio. Su espesor es del orden de 50 m y la transmisividad es de aproximadamente 200 m²/día. Este nivel incluye a la capa freática, cuya profundidad, en condiciones naturales, varía entre 5 y 10 m. Por debajo del Pampeano se sitúan las Arenas Puelches que representan al acuífero más importante del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de una secuencia de arenas cuarzosas finas a medianas, con un tamaño de grano que aumenta en profundidad. El espesor es de aproximadamente 20 m y la transmisividad media de 500 m²/día (Bazán et. al., 2011).

A su vez, el acuífero Puelche forma parte de un acuífero multiunitario, integrado por los subacuiferos: “epipuelche”, “puelche” e “hipopuelche”. El subacuífero “epipuelche”, localizado en los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos, se presenta como un nivel continuo con diferencias de permeabilidad entre los sedimentos. Está compuesto principalmente por un limo loessoide, con intercalaciones arenosas y lentes de tosca, que por lo general no posee estratificación. El subacuífero “puelche” es la unidad de mayor explotación de agua subterránea y está integrado por material arenoso de coloraciones claras, de grano mediano a fino, con algunas intercalaciones de grava basal. El subacuífero “hipopuelche” se desarrolla por encima del basamento ígneometamórfico. Comienza con un conjunto de sedimentos rojizos conocidos como “El Rojo” compuesto por arcillas y areniscas rojas con altos porcentajes de yeso. En su parte superior se encuentran areniscas y arcillas grises a verdosas. (García y Zanandrea, NE).

Tanto el acuífero pampeano como el Puelche, se encuentran relacionados. El funcionamiento hidrogeológico de ambos se puede observar en la figura a continuación.

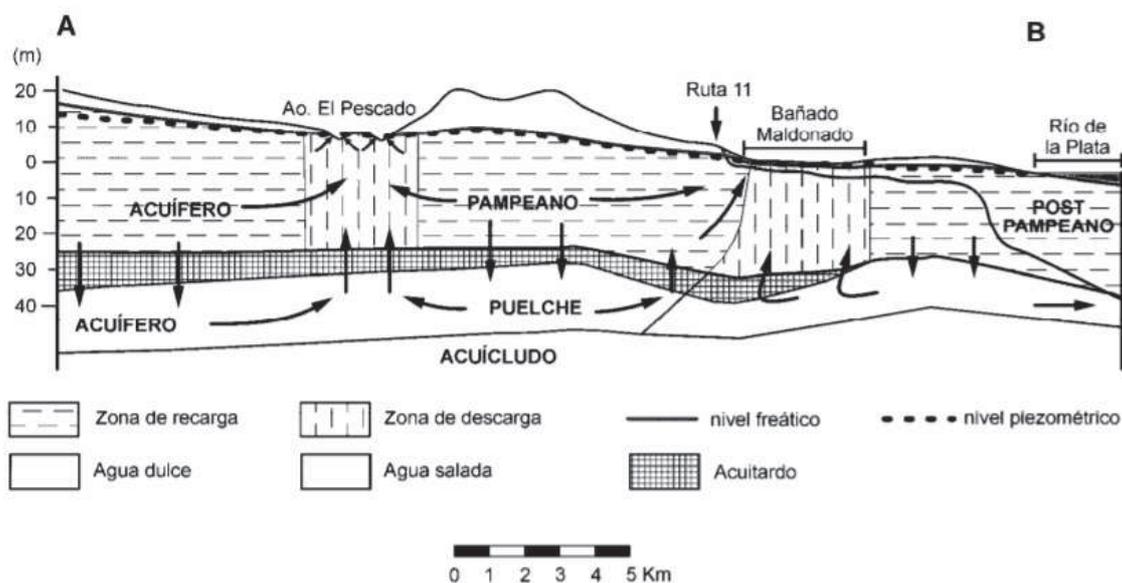


Figura 91: Perfil hidrogeológico de La Plata y alrededores (Auge, 2005)

El acuitardo es el medio de comunicación entre ambos y permite que el Puelche se recargue por filtración vertical descendente, en aquellos sitios donde el Pampeano presenta mayor potencial hidráulico (divisorias subterráneas), o se descargue por filtración vertical ascendente, donde presenta menor potencial hidráulico que el Puelche (zonas de descarga) (Auge, 2005). El rasgo morfológico llano favorece el predominio de los movimientos verticales del agua (infiltración-evapotranspiración) sobre los movimientos horizontales (escurrimientos) existiendo además una significativa interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas (Bazán et. al, 2011).

Gracias a esta comunicación íntima, los acuíferos poseen características fisicoquímicas (salinidad, dureza...) similares.

10.4.4.1. Calidad del agua subterránea

El agua subterránea de ambas cuencas presenta características bicarbonatadas sódicas, evolucionando a clorurada sódica hacia la zona de descarga. El agua superficial también posee agua de características bicarbonatadas sódicas que pasan gradualmente a cloruradas sódicas, en algunas oportunidades pueden presentar alta turbiedad producto del transporte en suspensión de materia orgánica. En la planicie costera la salinidad del agua puede llegar hasta los 8.000 ppm (Bazán et. al., 2011).

En la tabla a continuación se pueden observar las características del agua subterránea de la cuenca del arroyo del Gato y del arroyo Pescado. El proyecto se ubica en estas cuencas.

Parámetro	Cuenca Arroyo El Pescado			Cuenca arroyo Del Gato		
	Min	Max	Mediana	Min	Max	Mediana
pH	7.29	8.52	7.6	7	7.75	7.57
conductividad	622	5690	911	713	1404	933
Sol. disuelto	433	5328	565	442	870	578
cloruros	16	1480	26	7	71	46
	Cuenca Arroyo El Pescado			Cuenca arroyo Del Gato		
alcalinidad	160	670	430	350	630	420
sulfatos	3	216	24	9	26	15
dureza	16	500	152	80	204	15
calcio	3	85	38	22	48	27
magnesio	2	69	12	6	20	9
sodio	46	966	207	161	253	202
potasio	4	35	12	4	16	4
nitritos	<0.01	0.62	-	<0.01	0.02	-
nitrato	2	99	29	2	122	28
amoniacaco	--	--	< 0.05	<0.05	0.13	-
fosfatos	0.03	0.37	0.05	0.03	0.04	0.04
silice	56	82	72	21	80	73

Figura 92: características del agua subterránea de las cuencas del Arroyo del Gato y El Pescado (Bazán et. al., 2011)

Se observa que el agua deja de ser apta para consumo humano en la planicie costera por su alta salinidad.

10.4.5. Geología y geomorfología

Como ya se mencionó anteriormente, a escala regional se diferencian dos sectores bien marcados: la Llanura Alta y la Planicie Costera. El proyecto se localiza sobre la Planicie Costera en la Llanura Costera del Río de la Plata. Esta zona es llana y contiene una sucesión de formas originadas durante el ciclo transgresivo-regresivo ocurrido en el Holoceno, tales como cordones conchiles, llanuras de mareas, bañados, canales de mareas, etc. (Cabral et. al, 2016).

Este sector, donde se encuentra el partido de Berisso, se encuentra anegado durante períodos prolongados, particularmente en los bañados. Es para evitar esto último que se construyeron canales que desembocan directamente en el Río de La Plata.

Dentro de esta área, se distinguen unidades geomorfológicas de acuerdo al origen de sus materiales. La Fluvio-Estuárica y Marina son las que se encuentran en Berisso y Ensenada. Luego, existe una tercera área denominada de origen Mixto, que separa el Sector de la Planicie Costera del Sector de la Llanura Continental, en la cual se asienta el Partido de La Plata (Cabral et. al., NE).

Se describe seguidamente en profundidad las áreas geomorfológicas presentes en el municipio de Berisso.

10.4.5.1. Área de Influencia Fluvio Estuárica

Su característica principal está dada por el material arenoso suelto que la compone, la influencia permanentemente de la acción de las mareas y su contacto con el río.

- Playa actual: Constituye el borde litoral, con una suave pendiente y un ancho variable que depende de la amplitud de las mareas. Está presente en forma continua en toda la región, manifestándose como una sucesión de suaves crestas y canales de sedimentos de granulometría arena fina, aunque en ocasiones y dependiendo de la dinámica, se reconocen sedimentos más finos, con predominio de la fracción limo.
- Llanura aluvional antigua: Esta antigua línea de costa está marcada en el mapa geomorfológico con la denominación de escalón costero. El progresivo crecimiento del cordón litoral dio origen a la Isla Santiago.
- Llanura aluvional reciente: Como consecuencia de los aportes sedimentarios del ámbito continental y estuárico, se produjo la colmatación de la antigua albúfera con material aluvional más reciente, del mismo origen y características litológicas. No solo se fue colmatando la desembocadura del Río Santiago, sino que el material aluvional se fue incrementando en la zona ribereña, provocando el cierre de la antigua Ensenada, que solo mantiene su contacto con el Río de La Plata a través de canales que deben ser dragados permanentemente para su utilización como vías navegables (Cabral et. al, 2016).

10.4.5.2. Área de Influencia Marina

- Cordón conchil : Son geoformas positivas generadas por la acumulación de valvas de moluscos enteras y fragmentadas, acompañadas por arenas finas a muy finas de color castaño claro. Constituyen formas alargadas, discontinuas, paralelas a subparalelas a la línea de costa, localizadas cerca de la Llanura Interior. Las geoformas han sido alteradas por la extracción de conchilla y urbanizaciones.

- Llanura de fango: Se trata de una zona de relieve plano, cuyo límite interior está marcado por un pequeño escalón que marca la antigua línea de costa. Los cursos que drenan la Llanura Interior, al llegar a ella no pueden labrar su cauce y dispersan sus aguas en grandes depresiones o bañados, lo que ha motivado la necesidad de su canalización hasta el Río de la Plata.
- Bañado: Son áreas cóncavas que permanecen anegadas en forma casi permanente. Se hallan cubiertos en gran parte por vegetación higrófila.
- Llanura de mareas interior: Esta unidad se extiende desde la margen derecho del arroyo El Pescado, tomando una pequeña zona al noreste del partido, una parte de Berisso y se desarrolla fundamentalmente en el partido de Magdalena. Tiene materiales similares a la Llanura de fango, pero se caracteriza por contener una gran cantidad de antiguos canales de mareas.
- Antiguos canales de mareas: Constituyen una serie de antiguos cauces de diseño meandroso o localmente sinuoso, desarrollados sobre la Llanura de mareas interiores. Estos canales fueron rellenados con depósitos aluviales. Esta unidad se extiende solamente sobre el antiguo estuario interior correspondiente al arroyo El Pescado (Cabral et. 2016, NE).

10.4.5.3. Zona de Origen Mixto

- Antiguo estuario interior: Son áreas inundables que funcionaron como “estuarios” durante la última ingresión marina del Holoceno, muchas veces asociadas a depósitos conchiles. Los sedimentos depositados son similares a las descritas en la Llanura de Fango.
- Antigua franja costera: Esta unidad se desarrolla sobre un paleoacantilado que marcó el límite de la última ingresión. Se visualiza como un pequeño escalón topográfico, de pocos centímetros.
- Interfluvio de origen mixto: Son pequeños sectores levemente sobreelevados de relieve plano situados entre brazos del arroyo El Pescado o de antiguos canales de marea. Están constituidos por materiales medianamente finos a medianamente gruesos de origen fluvial y estuárico (Cabral et.al., 2016).

En la imagen a continuación se puede observar un mapa de Berisso con las distintas unidades geomorfológicas.

Como se observa en la figura anterior, el proyecto se localiza entre en bañado y la llanura de fango por lo cual se refuerza la idea de realizar un plan de contingencias para posibles inundaciones.

En la figura 113 del anexo, se puede observar un cuadro descriptivo de las distintas unidades geomorfológicas y sus riesgos de inundación asociados. Como ya se mencionó, en el área de emplazamiento del proyecto este riesgo es máximo.

10.4.6. Medio edáfico

Según el trabajo coordinado por la geóloga Mirta Cabral y publicado por IGS-CISAUA (Instituto de Geomorfología y Suelos - Centro de Investigaciones en Suelos y Agua de uso agropecuario) de la Universidad Nacional de la Plata, en la localización del proyecto, se encuentran suelos (unidades cartográficas) de tipo M2 y M3.

Los suelos M2 son una consociación de natracuertes típicos y de pobre drenaje. Los suelos permanecen anegados y con el nivel freático elevado por largos períodos de tiempo. Poseen colores de baja intensidad y poca cantidad de materia orgánica (Cabral et. al, 2016).

Los suelos M3 son un complejo de natracuertes típicos de escaso drenaje con epiacuertes típicos y hálicos. Se los puede localizar en las zonas de menor altura dentro de la planicie como los bañados. Los mismos suelen estar anegados y poseen un alto grado de saturación con rasgos hidromórficos además de ser muy reductores. Los perfiles que tienen contenidos altos de sodio intercambiable se han clasificado como Natracuertes típicos. En perfiles donde la reacción es ácida o levemente alcalina, que indicarían menores niveles de sodio, los suelos fueron clasificados como Epiacuertes típicos (Cabral et. al., 2016).

En la figura a continuación se pueden observar los distintos tipos de suelos encontrados en el municipio de Berisso.

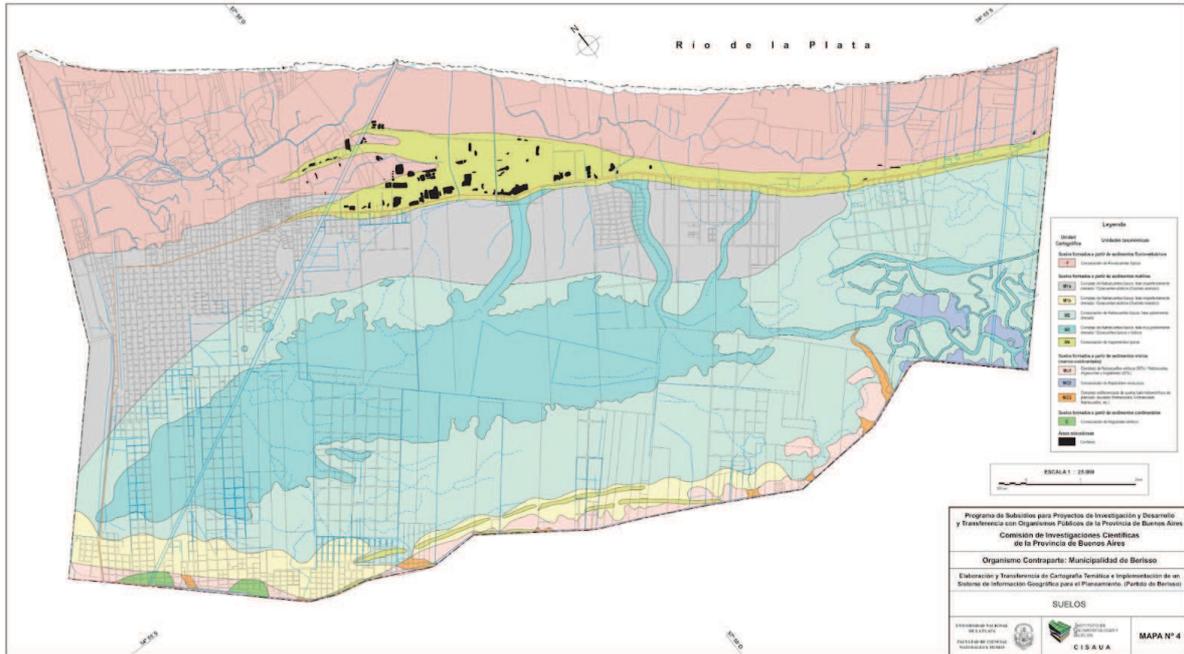


Figura 93: Tipos de suelos del municipio de Berissa

(Fuente: <http://www.berisso.gov.ar/pdfs/mapas/cartografia.pdf>)

Se puede observar que el suelo estaría en condiciones para colocar estructuras de módulos fotovoltaicos hincadas al mismo pero al ser inundable se recomienda colocar fundaciones con hormigón para evitar posibles movimientos indeseados.

10.4.7. Medio biótico

El área del proyecto, se encuentra en la ribera platense, en la porción terminal de la Cuenca del Plata, específicamente en la subregión inferior donde se encuentra también el Bajo Delta. Esta área es la más afectada por urbanizaciones y forestación por su alto nivel de actividades extractivas (Bó et. al., 2002).

Las características de esta región son muy particulares ya que poseen especies de linaje subtropical. Además, posee una alta heterogeneidad ambiental que permite que haya diferentes especies tanto de especies vegetales como de fauna. Pertenecen a la región de la provincia Pampeana al ser una región subtropical en una zona templada (Bó et. al., 2002).

Uno de los límites de esta ecorregión está dado por el Río de La Plata. La zona de transición entre el medio terrestre y el río, se encuentra compuesta por un conjunto de humedales, los cuales representan un mosaico de ecosistemas de importancia para la conservación debido principalmente a su biodiversidad. Estos humedales son zonas de transición entre ecosistemas predominantemente terrestres y netamente acuáticos que

además de poseer características de cada uno de ellos, determinan un gradiente continuo entre ambos (Moschione y Francesco, 2005).

10.4.7.1. Flora

Los bosques de algarrobos (*Prosopis nigra*), tala (*Celtis ehrenbergiana*) y espinillos (*Acacia caven*), junto con otras especies de árboles de características xéricas, establecen distintas asociaciones que se emplazan como isletas en los pastizales o a lo largo de viejos cordones de origen marino. Existen alrededor de 700 especies vegetales agrupadas en más de 100 familias, siendo las poáceas (denominadas comúnmente “gramíneas”) y las asteráceas (plantas “compuestas”) las más representativas (Burkart, 1957). En esta zona se desarrolla una selva en galería o “monte Blanco” paranaense (Bó et. al., 2002).

Como se mencionó anteriormente, la zona donde se encuentra el proyecto se encuentra bastante alterada por lo que muchas especies autóctonas se encuentran reemplazadas por especies exóticas como: ligustro (*Ligustrum lucidum*), ligustrina (*Ligustrum sinense*), moreras (*Morus alba* y *M. nigra*), fresno (*Fraxinus pennsylvanica*) y arce (*Acer negundo*) (Bó et.al., 2002).

Este ambiente, se caracteriza por comunidades herbáceas hidrófilas de baja riqueza. Hay, en la zona inferior, pajonales de cortadera (*Scirpus giganteus*) y juncales (*Schoenoplectus californicus*). Otra especie característica del Delta que se encuentra presente son los carrizales (*Panicum spp*). En los cuerpos de agua, como ríos o arroyos, se encuentran especies flotantes y herbáceas hidrófilas como el camalotal (*Eichhornia spp.*) y el canutillar (*Panicum elephantipes*) (Bó et. al., 2002).

En la porción alta de las medias lomas y limitando con las unidades boscosas se establecen los arbustales, alternando en algunos casos con bosques abiertos de sauces o espinillos con fisonomía de sabana, conformados por carpinchera (*Mimosa pigra*), duraznillo blanco (*Solanum glaucophyllum*), rama negra (*Sesbania virgata*), acacia mansa (*Sesbania punicea*) y chilcales de *Baccharis spp.* (Aceñolaza et al., 2008).

Se pueden diferenciar pajonales y talaes, ecosistemas de lagunas, canteras, arroyos y espejos de agua, monte ribereño y monte marginal y playas y aguas del río de La Plata.

Los pajonales y talaes ocupan todos los terrenos inundables de la franja central baja del Partido de Berisso y están compuestos más que nada por cardos y chilcas. Estos pajonales son áreas inundables y por más que haya contaminación de especies exóticas albergan mucha fauna. Los talaes son bosquecillos xeromórficos de escasa altura que se desarrollan en suelos más o menos altos, generalmente sobre albardones de conchillas. Los mismos se

encuentran constituidos principalmente por las especies arbóreas tala, molle, coronillo, cina cina, sombra de toro y algún espinillo.

10.4.7.2. Fauna

Para el Bajo Delta, existirían alrededor de 47 especies de mamíferos, 260 de aves, 37 de reptiles, 27 de anfibios y más de 200 de peces (Quintana y Bo, 2013). Los grupos de vertebrados más abundantes y diversos son las aves y los peces. Muchas de las aves son emblemáticas, claves, indicadoras y/o paraguas (por ejemplo los flamencos, las rapaces, y varias aves migratorias, frugívoras, polinizadoras) y amenazadas (Marchetti et al., 2013). Conviven especies de la selva en galería paranaense, del espinal, pampeanas e incluso migratorias patagónicas de invierno.

Entre los mamíferos, se destacan el carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*), el coipo (*Myocastor coypus*), el lobito de río (*Lontra longicaudis*), el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*), el gato montés (*Oncifelis geoffroyi*), la comadreja colorada (*Lutreolina crassicaudata*) y la rata colorada (*Holochilus brasiliensis*), que conviven con otras especies de linaje chaqueño o pampeano como el zorro de monte (*Cerdocyon thous*), la comadreja overa (*Didelphis albiventris*) y el quirquincho grande (*Chaetophractus villosus*). Algunos predadores acuáticos como el lobito de río aún persiste pero es sumamente escaso (Marchetti et al., 2013). En los ambientes altamente urbanizados de la región, las especies de roedores características son las especies domésticas como la rata negra (*Rattus rattus*), la laucha urbana (*Mus domesticus*) y la rata parda o de alcantarilla (*Rattus norvegicus*).

Por otro lado, tanto el ciervo de los pantanos como cuatro especies de murciélagos y cuatro ratones, estarían presentes sólo en el Delta inferior, probablemente por ingresar desde el corredor del Río Uruguay. La mayoría de los mamíferos se encuentran en los altos relativos. sobre todo en la ribera y un menor número en los pastizales de media loma. El lobito de río, carpincho, el ciervo de los pantanos y el coipo se encuentran en los bajos inundables o en las orillas de los cuerpos de agua en combinación con los bosques ribereños (Bó et. al., 2002). Lamentablemente, el ciervo de los pantanos y el lobito de río se encuentran en peligro de extinción. En el caso particular de Berisso, el lobito de río parecería estar extinto por la caza.

Con lo que respecta a la aves, muchas son de origen pampásico como el naranjero (*Thraupis bonariensis*) y al cabeicta negro. Luego, de las que se pueden avistar con mayor probabilidad, se destacan el hornero (*Furnarius rufus*), la cotorra (*Myopsitta monacha*) y el

chingolo común (*Zonotrichia capensis*). La existencia de grandes lagunas con vegetación de bajo porte permite la congregación de numerosas aves acuáticas como la garza mora (*Ardea cocoi*), el tuyuyú (*Ciconia maguari*), el cuervillo de cañada (*Plegadis chihi*), el carao (*Aramus guarauna*) y la garza blanca grande (*Ardea alba*), el pato picazo (*Netta peposaca*), entre otras (Bó et. al., 2002).

De los reptiles se destacan el yacaré (*Caiman yacare*), el lagarto overo (*Tupinambis merinae*) y las tortugas de laguna (*Phrynops hilarii*) y de río (*Hydromedusa tectifera*). Abundan las serpientes acuáticas, como las falsas corales de estero (*Helicops leopardinus* y *H. infrataeniatus*), la ñacaniná (*Hydrodynastes gigas*) y la culebra verde (*Liophis semiaureus*) (Marchetti et al., 2013). Unas cinco especies, incluyendo una tortuga, dos lagartijas y dos culebras acuáticas, serían actualmente exclusivas del Delta Inferior (Bó et. al., 2002).

Para los anfibios y dentro de las 27 especies presentes, merecen destacarse los géneros *Rhinella* (*Bufo*), *Leptodactylus*, *Physalaemus* e *Hypsiboas* (*Hyla*), entre otros.

Con respecto a la ictiofauna, existirían en el Delta del Paraná unas 172 especies de peces (López, 2001). Las familias mejor representadas son Pimelodidae, que incluye a los bagres (*Pimelodus spp* y *Parapimelodus spp*), los surubíes (*Pseudoplatystoma spp*) y el pati (*Luciopimelodus pati*). Sólo 127 de ellas se hallarían presentes en el Bajo Delta (López, 2001) donde se localiza el área de estudio.

10.4.8. Áreas protegidas y de sensibilidad ambiental

Las áreas protegidas son áreas que reciben por medio de alguna herramienta legal cierto tipo de protección con fines de conservación. La única área protegida desde el punto de vista legal, cerca del área del proyecto, es la Reserva Natural Punta Lara. Luego se encuentran otras que no presentan regulación pero figuran cómo áreas protegidas en los expedientes de su fundación. Las mismas se enlistan a continuación:

- Paisaje Protegido de Interés Provincial Arroyo el Pescado.
- Paisaje Protegido de Interés Provincial Monte Ribereño Isla Paulino – Isla Santiago.
- Área Protegida Parque Martín Rodríguez.
- Áreas Protegidas Costa del Río de La Plata y Costas de Canales y Arroyos.

10.4.8.1. Reserva Punta Lara

Esta reserva se encuentra a aproximadamente 15 km del área de emplazamiento del proyecto, dentro del AII. La misma forma parte del Sistema de Áreas Naturales Protegidas

de la Provincia de Buenos Aires declarada en la ley provincial N° 10.907. Además, fue denominada Reserva Natural Integral Punta Lara gracias a la ley provincial N° 12.814. Inicialmente ocupaba una superficie de 30 hectáreas, que luego se amplió en dos oportunidades hasta alcanzar su dimensión actual de 6.000 hectáreas ocupando parte de los partidos de Ensenada y Berazategui.

La reserva puede ser considerada como una selva ribereña con alta riqueza de especies ya que posee 151 especies de flora. Se destacan las enredaderas, las epífitas y la orquídea flor de pajarito (*Oncidium bifolium*), herbáceas y formas de vida arbóreas y arbustivas.



Figura 94: Reserva de Punta Lara (Fuente:

https://www.google.com/search?q=reserva+punta+lara&tbm=isch&ved=2ahUKEwip-qXTueHzAhV_N7kGHVt2AkUQ2-cCegQIABAA&oq=reserva+punta+lara&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBggAEAgQHjIGCAAQCBAeMgYIABAIEB4yBAgAEBg6CAgAEIAEELEDOggIABCxAXCDAToECAAQQzoHCAAQsQMqq1DqkQZYuKMGYOukBmgAcAB4AIABqgGIAbEWkgEEMC4xOZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=CXt0YenRLf_u5OUP2-yJqAQ&bih=577&biw=1280#imgrc=mwGh3QHYkrSosM)

10.4.8.2. Paisaje Protegido de Interés Provincial Arroyo el Pescado

Según la ley provincial N° 12.247, se declara Paisaje Protegido de Interés Provincial a la Cuenca del Arroyo El Pescado, desde su nacimiento en el partido de La Plata, entre las calles 612 y la Ruta Provincial 36, hasta su desembocadura en el Río de La Plata, entre el Balneario Bagliardi y el Balneario Municipal de La Balandra en el partido de Berisso. El objetivo de esta declaración es conservar el arroyo El Pescado como un recurso hídrico

libre de contaminación y proteger la integridad del paisaje de su área de influencia, manteniendo sus condiciones naturales actuales (Ley 12.247, 1999).

10.4.8.3. Isla Paulino e Isla Santiago

El Paisaje Protegido de Interés Provincial Monte Ribereño Isla Paulino - Isla Santiago abarca las islas Santiago (partido de Ensenada) y Paulino (partido de Berisso), que bordean el canal de acceso al Puerto de La Plata. Tiene por objeto conservar y preservar la integridad del paisaje natural, geomorfológico, histórico y urbanístico de dicha zona (Ley Provincial N° 12.756).

Actualmente, la isla Paulino cuenta con aproximadamente 30 pobladores que mantienen un modo de vida rural, caracterizado por el cultivo de quintas y la explotación de viñedos. En la isla Santiago, viven unas 40 familias que se localizan en las inmediaciones del canal de acceso al puerto La Plata. También se localizan allí los edificios del Liceo Naval y de la Escuela Naval Militar Río Santiago.

En las mismas se encuentran bosques exóticos implantados como álamo (*Populus spp.*), o fresnos (*Fraxinus pennsylvanica*). También se destacan algunas especies autóctonas de menor porte como el tala (*Celtis tala*) y el sauce criollo (*Salix humboldtiana*). Además, hay otras especies exóticas como el lirio amarillo (*Iris pseudacorus*). Se pueden ver pajonales inundables, bosques marginales y bosques de albardón generados por la canalización del canal del Gato.



Figura 95: Ubicación geográfica de las Islas Santiago y Paulino. (Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Areas-de-estudio_fig1_259397248)

Estas islas constituyen un ambiente de alto valor ecológico concentrando una gran densidad de especies nativas.

10.4.8.4. Parque Martín Rodríguez

El partido de Ensenada ha declarado sus propias áreas protegidas ante la necesidad de conservar los recursos naturales disponibles en su entorno (Ordenanza N° 1829/95). Este parque es uno de estos espacios aunque se encuentra forestado casi en su totalidad con especies exóticas del género *Eucalyptus*, que actualmente suman más de 80.000 ejemplares.

10.4.8.5. Áreas Protegidas Costa del Río de La Plata y Costas de Canales y Arroyos

La misma ordenanza municipal N° 1829/95 declara a la costa del Río de La Plata y las costas de los canales y arroyos del partido de Ensenada como áreas protegidas.

10.4.9. Medio atmosférico

10.4.9.1. Ruido

El ruido puede provocar molestias si el nivel del mismo excede en un cierto margen al ruido de fondo preexistente ó cuando éste alcanza un determinado valor establecido. Debido a falta de mediciones propias del municipio de Berisso, como fuente de línea de base física en materia de ruido, se adopta lo reglamentado por la norma IRAM 4062 acerca de "Ruidos

molestos al vecindario” - Métodos de medición y calificación del año 2016, en la cual se adopta que el ruido de base corresponde a 40 dB. Se encontraron estudios más específicos para la zona del proyecto donde se observó un nivel de ruido de fondo para la zona suburbana de 59 dB durante el período diurno y 62,5 dB durante el período de descanso. Para la zona industrial, los valores registrados fueron de 63 dB durante el período diurno y 62 dB durante el período de descanso.

10.4.9.2. Calidad del aire

Para la calidad del aire, no se pudieron realizar estudios específicos para el área. Por esa razón, se utilizó el estudio realizado por Colman Lerner et al. (2011) en el municipio de Ensenada. Se asume que la calidad de aire de Ensenada y Berisso es muy similar. En este trabajo se pudo observar que, los contaminantes como el benceno y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPAs), se encuentran en la zona del Polo Industrial de Ensenada en niveles de riesgo, superando los rangos de valores aceptados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Los valores de material particulado también son altos. Esto no ocurre con los cicloalcanos (Colman Lerner et al., 2011).

En la figura a continuación, se pueden observar valores de los COV tomados en escuelas cercanas al Polo Industrial de Ensenada. Se observa que las escuelas más próximas al Polo poseen mayores concentraciones de estos contaminantes.

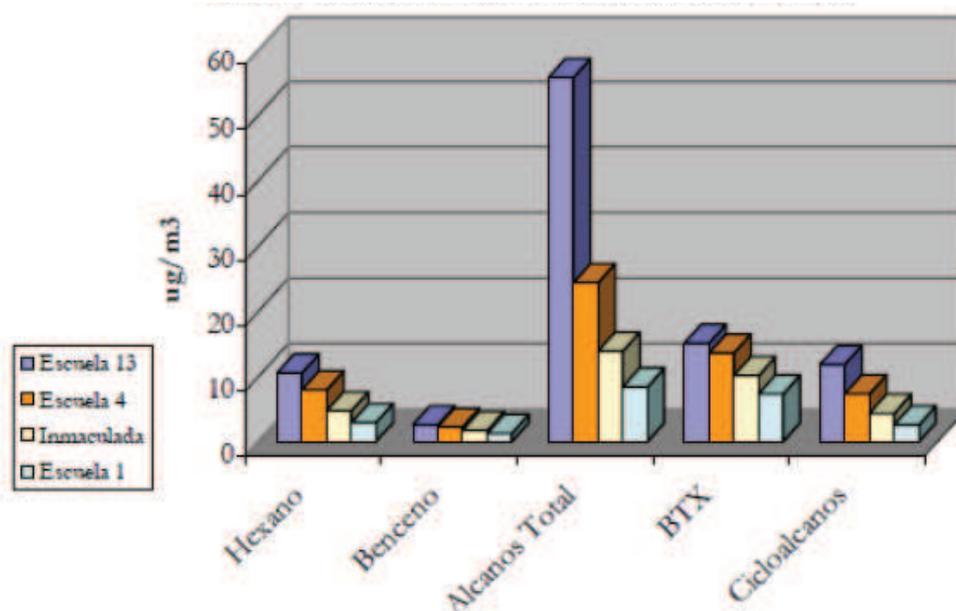


Figura 96: Valores de COV's en distintas escuelas cercanas a la zona del Polo Industrial (Colman Lerner et al., 2011).

Se observa que ninguno de los valores supera el valor establecido por la normativa ambiental en el Decreto Provincial 3395/96. De todas maneras, al emitir este tipo de contaminantes las piletas API es imperioso que las mismas estén cubiertas para evitar liberar este contaminante al ambiente.

10.4.10. Medio Socioeconómico

10.4.10.1. Datos generales y demografía

Como se mencionó con anterioridad, Berisso es parte del Gran La Plata además del municipio de Ensenada y la capital de la provincia de Buenos Aires (La Plata). Este sector ocupa un área de 115.000 ha. Según el último censo, realizado por el INDEC en 2010, la población de este sector es de casi 800.000 habitantes.

La Plata es que el posee la mayor cantidad de habitantes y el que ocupa el mayor espacio, seguido de Berisso y luego de Ensenada. El municipio de Berisso posee un total de 88.470 habitantes (es decir alrededor del 11% de la población total) y un total de 13.800 ha (alrededor del 12% del territorio del Gran La Plata). A continuación, se observa la pirámide poblacional invertida del partido de Berisso donde se observa que el rango etario poblacional es similar al de cualquier ciudad urbana de Buenos Aires.

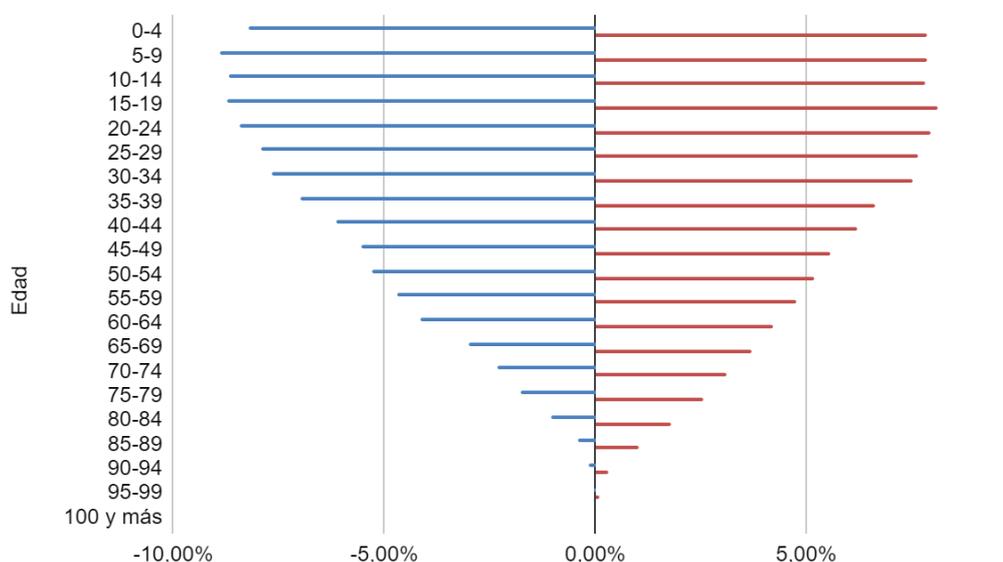


Figura 97: Pirámide poblacional invertida del municipio de Berisso. En rojo se observan las mujeres y en azul los hombres (Fuente: Elaboración propia con datos del INDEC, censo 2010)

10.4.10.2. Educación

Berisso posee una baja tasa de analfabetismo. La misma es de 1,26 y es inferior a la de la provincia de Buenos Aires. Con respecto a la tasa neta de escolarización (TNE), la misma

es de 21 para terciario y universitario, 56 para polimodal y 94,2 para EGB por lo que se puede observar que la mayor parte de la población posee completo el primario.

En la tabla a continuación se observa que hay un total de 93 establecimientos educativos en el municipio y cómo se reparten.

Tabla 30: Establecimientos educativos del municipio de Berisso (Fuente: Elaboración propia, Municipalidad de Berisso)

Establecimiento	Cantidad
Jardines de infantes	15
Escuelas primarias básicas	30
Centros educativos complementarios	3
Escuelas de educación especial	2
Escuelas secundarias básicas	22
Escuelas de enseñanza media	3
Escuela de enseñanza técnica	2
Escuelas para adultos	7
Centros de educación física	1
Centro de formación profesional	2
Escuelas de educación artística	2
Instituto de formación técnica	1
Formación profesional	3
TOTAL	93

Se observa que no hay ninguna universidad pero esto es porque a pocos kilómetros de Berisso se encuentra la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en La Plata donde pueden acceder fácilmente los habitantes al ser pública y cercana.

10.4.10.3. Salud

En el Municipio de Berisso hay 6 hospitales y clínicas. Sus nombres, direcciones y teléfonos se pueden observar en el listado del anexo. La cobertura de salud abarca al 40 % de la población, apelando el resto al sistema público de salud.

10.4.10.4. Actividades productivas

Más allá de que el perfil del partido de Berisso se consolidó principalmente a partir del desarrollo portuario e industrial, el mismo posee un extenso ámbito rural. Las actividades rurales principales son la producción frutihortícola que se desarrolla en el cinturón costero, en segundo lugar la ganadería y con menor participación la caña y la forestación. El resto corresponde a actividades de granja y otras propias del medio rural.

Al estar próximo al Puerto la Plata, la ubicación de la nueva refinería es ideal para poder exportar productos. Muchas de las actividades industriales se localizan cercanas al puerto por esta razón. Como Berisso linda con el Río de La Plata, también se pueden realizar distintas actividades recreativas como por ejemplo en el club Náutico.

10.4.10.5. Empleo

Según datos recopilados por el INDEC, la tasa de desempleo del Gran La Plata, en julio 2021, es de 7,9% habiendo descendido con respecto al primer trimestre que había sido uno de los valores más altos registrados generado por la pandemia de coronavirus. Son 33.000 personas las desempleadas en julio de 2021. No se encontró dato específico para el partido de Berisso. La tasa de subocupación en el Gran La Plata es del 13%. De todas maneras, el proyecto en cuestión traerá trabajo y mano de obra pudiendo llegar a disminuir este valor.

10.4.10.6. Servicios básicos

En lo referente a servicios de infraestructura urbana el partido cuenta con un promedio 50% de calles pavimentadas y provistas de alumbrado público en un 70%. Posee suministro eléctrico en todo su territorio pero no es lo que ocurre con el agua potable o el gas natural.

El sector más retrasado es el que corresponde a los servicios de saneamiento urbano (agua potable y desagües cloacales) donde un 70% posee red de agua potable y menos del 40% posee red de desagüe cloacal. El retraso en la instalación de estos servicios esenciales se debe en parte a la naturaleza aluvial del terreno y a las características topográficas de la zona que es parte de la zona más deprimida. La red de gas llega a un 61% de los hogares.

La empresa privada Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA) es la concesionaria a cargo de la red de agua potable y el sistema cloacal en los partidos de La Plata, Ensenada y Berisso.

En los partidos de Ensenada y Berisso la recolección de residuos es un servicio prestado por la Municipalidad. La disposición final de los mismos se realiza en el relleno sanitario del CEAMSE operado por la empresa ESTRANS S.A., que recibe los residuos sólidos domiciliarios e industriales asimilables provenientes de los partidos de La Plata, Berisso, Ensenada, Brandsen y Magdalena.

La distribución de gas natural en la zona de estudio se encuentra a cargo de Camuzzi Gas Pampeana S.A y la eléctrica de EDEN S.A.

10.5. Identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales

Como parte del objetivo de una EIA es evitar el deterioro del medioambiente y evitar los impactos innecesarios en el mismo, es importante identificar y evaluar estos posibles impactos.

Basándose en el diagnóstico del sistema ambiental receptor realizado a lo largo del Apartado 10.4 “Caracterización ambiental del área de influencia del proyecto” del presente proyecto final, se han identificado los componentes del sistema receptor que pueden ser afectados por el proyecto en su conjunto y las acciones del proyecto potencialmente generadoras de impacto.

10.5.1. Factores del medio potencialmente impactados

Los componentes del subsistema natural considerados son los siguientes:

- Medio físico: El aire (calidad y ruido), el agua (calidad del agua superficial y de la subterránea) y el suelo (calidad, vibraciones y geoforma y relieve).
- Medio biótico: La fauna (biodiversidad y fragmentación) y la flora (cobertura vegetal y biodiversidad).
- Medio antrópico: Aspectos económicos (generación de empleo, infraestructura de servicios e insumos y la demanda energética) y Aspectos socioculturales (salud, seguridad del personal de obra y paisaje).

10.5.2. Acciones del proyecto potencialmente generadoras de impacto

A continuación, se enumeran las acciones del proyecto que son posibles generadoras de impactos en el ambiente clasificadas en las tres etapas del proyecto:

- Etapa de construcción: destape, acondicionamiento del terreno (nivelación, excavación...), construcción infraestructura, traslado de materiales y acopio, movimiento de maquinarias y vehículos, generación de residuos, colocación de estructuras hincadas sobre el suelo
- Etapa de operación: transporte de personal e insumos, generación de residuos, movimiento de vehículos, operación de la PTEL, operación del parque fotovoltaico.
- Etapa de cierre: Cese de actividad, desmantelamiento de instalaciones y limpieza, relleno y reacondicionamiento del sitio.

Cabe aclarar que no se coloca el mantenimiento de las unidades y de los paneles ya que no generan ningún impacto.

10.5.3. Evaluación de impactos potenciales

Las relaciones existentes entre los componentes del sistema ambiental y las acciones del proyecto, se establecen y vuelcan en un matriz resumen de impacto ambiental. Dicha matriz tiene carácter cuali-cuantitativo en donde cada impacto es calificado según su **importancia (I)** según la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

La explicación de estos conceptos en la fórmula se da seguidamente:

Signo (+ o -): El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

Intensidad (i): Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor.

Extensión (EX): Se refiere al área de influencia teórica del impacto. Mayor es esta área mayor es el impacto.

Momento (MO): El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

Persistencia (PE): Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales correctoras. La persistencia es independiente de la reversibilidad.

Reversibilidad (RV): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

Recuperabilidad (MC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.

Sinergia (SI): Contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea.

Acumulación (AC): Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Efecto (EF): De acuerdo a su manifestación o forma de operar sobre el medio será directo o indirecto.

Periodicidad (PR): La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto.

La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce mediante el uso de la ecuación antes mencionada en función del valor asignado a los símbolos considerados:

Tabla 31: Valores posibles de cada variable de la ecuación (Elaboración propia)

Signo		Acumulación		Efecto		Persistencia	
Beneficioso	+	Simple	1	Indirecto	1	Fugaz	1
Perjudicial	-	Acumulativo	4	Directo	4	Temporal	2
						Permanente	4
Periodicidad		Sinergia		Reversibilidad		Matriz de Leopold	
Irregular	1	Sin sinergismo	1	Corto plazo	1		
periódico	2	Sinérgico	2	Medio plazo	2		
Continuo	4	Muy sinérgico	4	Irreversible	4		
Intensidad		Extensión		Momento			
Baja	1	Puntual	1	Largo plazo	1		
Media	2	Parcial	2	Medio plazo	2		
Alta	2	Extenso	4	Inmediato	4		
Muy alta	8	Total	8	Crítico	8		
Total	12	Crítica	12				

Para una mejor visualización de los resultados de los impactos, se han relacionado los valores numéricos con colores según la siguiente distribución.

Tabla 32: Relación entre valores numéricos y colores en la matriz (Elaboración propia)

Valores	Tipo
Positivos	Positivo
> -51	Leve
Entre -51 y -80	Medio
< -80	Alto

Por su parte, los casilleros en blanco representan acciones que no producen impactos evidentes. No se pondrá puntaje a los positivos ni a los casilleros blancos ya que se quieren observar los valores medios negativos al ser lo que se quieren evitar y no contrarrestar.

Se desarrolla el promedio de los impactos de cada acción, por columnas, para identificar las acciones más significativas. Asimismo, se efectúa el promedio del efecto de cada factor impactado por filas permitiendo conocer los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias del proyecto. El impacto total neto producto del sondeo, será el resultado del promedio entre las medias de todos los impactos correspondientes a las etapas del proyecto.

10.5.4. Matriz de evaluación de impacto ambiental

Tabla 33: Matriz de impacto ambiental (Elaboración propia)

			Construcción					Operación					Cierre			Valor medio			
			Destape	Acondicionamiento del terreno	Generación de residuos	Movimiento de maquinarias y vehículos	Construcción de infraestructura en área operativa	Colocación de estructuras en el suelo	Transporte de materiales y acopio	Transporte del personal e insumos	Generación de residuos	Movimiento de vehículos	Operación del parque fotovoltaico	Operación de la PTEL	Cese de parque solar		Cese de PTEL	Desmantelamiento de instalaciones y limpieza	Reacondicionamiento del sitio
Medio físico	Aire	Calidad	-60	-54	-10	-35	-22		-23	-22	-10	-31		-22			-20	-30	-28
		Ruido	-70	-65		-64	-59	-5	-30	-30		-52		-30			-55	-53	-47
	Agua	Calidad agua superficial	-25	-20	-10	-5	-17				-10					-99	-2		-24
		Calidad agua subterránea					-54									-54			-54
	Suelo	Calidad	-65	-57	-10	-22	-54	-51	-10	-10	-10	-10	-13	-33				-33	-29
		Geofoma y relieve	-82	-81		-3	-88	-44				-5	-23	-35					-45
Vibraciones		-74	-70		-52	-65	-22	-33	-33		-53		-10			-35	-33	-44	
Medio biótico	Fauna	Biodiversidad	-25	-20	-15	-35	-45	-33		-10	-15	-15	-23	-10			-15		-22
		Fragmentación	-15	-10		-29	-33	-29	-22	-21		-33	-52	-52					-30
	Flora	Cobertura vegetal	-85	-81		-44	-82	-33	-15	-6		-30	-22	-6			-22		-39
		Biodiversidad	-30	-22		-15	-36	-13				-13	-12	-3					-18
Medio antrópico	Aspectos económicos	Generación de empleo													-55	-99		-77	
		Infraestructura de servicios e insumos													-88	-95		-92	
		Demanda energética	-62	-55			-52	-5						-43	-52		-9	-22	-38
	Aspectos socioculturales	Salud	-34	-34	-26	-33	-22		-12	-10	-26	-15		-15			-8		-21
		Seguridad personal obra	-66	-66	-10	-22	-30		-10	-15	-10	-22	-15	-14			-10	-22	-24
		Paisaje	-85	-81	-20	-10	-74			-10	-20	-45		-23					-41
Valor medio			-56	-51	-14	-28	-49	-26	-19	-17	-14	-27	-23	-23	-65	-87	-20	-32	-34

Se puede observar gracias a la matriz que los impactos positivos fueron relacionados en su mayoría con aspectos económicos y sociales como la generación de empleo y el aumento de ganancias para los comerciantes aledaños. Además, la operación del parque solar genera distintos impactos positivos por evitar utilizar combustibles fósiles y también en la demanda energética al generar energía limpia utilizable.

Por otro lado, los impactos negativos se ven relacionados sobre todo al impacto en el medioambiente afectando tanto al medio biótico como al físico pero sobre todo al suelo y al

ruido. La salud y seguridad de los empleados pueden verse afectadas negativamente también aunque no en gran medida. Los peores puntajes los poseen la infraestructura de servicio y generación de empleo, pero esto es generado solamente por el cese de las actividades ya que el resto de las mismas poseen impactos positivos sobre estos factores

10.5.5. Descripción de los impactos ambientales

Para describir los impactos potenciales, se hablará de cada etapa por separado teniendo en cuenta las acciones del proyecto potencialmente generadoras de impacto ambiental.

10.5.5.1. Etapa de construcción

10.5.5.1.1. Impacto sobre el medio atmosférico

La calidad del aire podrá ser levemente afectada durante la construcción de infraestructura, el destape (impacto directo sobre el suelo al remover la cobertura vegetal) y movimientos dentro del predio por la emisión de gases de carácter temporal, debido a la utilización imprescindible de vehículos y maquinarias. También se producirá la dispersión de material particulado generado por el movimiento de suelos (tareas de despeje) y tránsito de maquinaria.

El movimiento de tierras constituirá la actividad más ruidosa. Asimismo, las emisiones sonoras correspondientes a los trabajos de montaje de equipos y estructuras metálicas serían similares.

10.5.5.1.2. Impacto sobre el medio hídrico

La calidad del agua superficial se puede ver afectada por ingreso de desechos o sedimentos dispersos por las maquinarias en el río así como grasas e hidrocarburos por vertidos accidentales de la maquinaria pesada.

La calidad de las aguas subterráneas no se verá afectada ya que no se utilizarán específicamente productos que puedan filtrarse.

Durante la construcción, se hará uso del recurso para la ejecución de las actividades propias del proyecto, como ser el agua destinada a elaboración de hormigón, para compactación de suelos y a otros usos menores que requiera la obra.

El agua será obtenida del Canal Santiago Este aunque no en cantidades que puedan llegar a afectar el caudal del mismo.

10.5.5.1.3. Impacto sobre el medio edáfico

Se generará un impacto por la pérdida de suelos que provocará las tareas de movimiento de suelo para el emplazamiento de las unidades además del destape. El movimiento de máquinas genera también vibraciones.

Las alteraciones sobre la geofoma y relieve se generarán principalmente como consecuencia de la remoción de cobertura vegetal y la nivelación del terreno.

Además, las estructuras metálicas de los módulos fotovoltaicos irán hincadas al suelo y a sus respectivos pilotes de hormigón para asegurarse que queden fijadas generando un cambio en la topografía del mismo, sumado a los cimientos de las unidades de la PTEL y el hormigonado.

Otro impacto posible en la calidad del suelo es la posibilidad de derrame de combustible y lubricantes pertenecientes a la maquinaria y vehículos aunque los mismos serían de pequeña magnitud.

10.5.5.1.4. Impacto sobre el medio biótico

La vegetación será impactada por el movimiento de suelos necesarios para esta etapa principalmente a través de la actividad de destape.

Aquellas áreas que serán ocupadas durante el período de la obra y los sectores destinados al acopio de material para construcción, una vez liberadas podrán retornar a la condición original fácilmente debido a la escasa cobertura que presenta el terreno.

Por otro lado, el impacto sobre la fauna producido por las tareas de construcción y montaje a desarrollarse en el sitio afectará principalmente la microfauna asociada al suelo.

También se extiende una afectación a la avifauna, pues el incremento de las actividades de construcción y montaje ahuyentará temporalmente a aquellos ejemplares que habitualmente se encuentran en las inmediaciones. El resto de la fauna podrá ser afectada por el ruido, vibraciones y emisiones de material particulado por las maquinarias que pueden ahuyentar a algunas de las especies que habitan en la zona. Es preciso aclarar que el impacto en esta fase será de tipo temporario y de baja intensidad. También se observa una fragmentación del territorio que podría afectar a ciertas especies y posibles atropellamientos.

10.5.5.1.5. Impacto sobre el medio antrópico

Se prevé un aumento temporal del tránsito de vehículos pesados en las rutas de acceso pudiendo afectar el tránsito. Igualmente la maquinaria a utilizar durante la obra permanecerá

dentro del predio. Asimismo, se mantendrán en condiciones los distintos accesos al predio y los caminos principales generando un impacto positivo en la manutención de los mismos.

Un impacto positivo, como resultado de esta etapa, es la generación de empleo de carácter temporal, y aumento del comercio local como resultado asociados a las diversas actividades que implica la obra.

Por su parte, las distintas actividades realizadas en esta etapa implicarían mayor riesgo de accidentes para los trabajadores. El uso de maquinarias y vehículos podrían generar ruidos provocando molestias en el personal. Este riesgo será minimizado con la utilización de los elementos de protección personal (EPP) y cumplimentando con los procedimientos operativos establecidos.

La calidad visual del paisaje en el área de estudio también se verá afectada por el proyecto. Si bien el área no se destaca por la presencia de resaltos topográficos, se debe considerar que las alteraciones más importantes sobre el paisaje resultarán durante las tareas de construcción, especialmente durante el montaje de los paneles fotovoltaicos y de las unidades de la PTEL, donde el movimiento vehicular y de personas, sumado a las tareas de desmonte, movimiento de suelo e instalaciones, contrastarían con el paisaje natural.

10.5.5.2. Etapa de operación

10.5.5.2.1. Impacto sobre el medio atmosférico

Al igual que en la etapa de construcción, la calidad del aire podrá ser afectada por la emisión de gases de combustión de carácter temporal, debido a la utilización imprescindible de vehículos. Con respecto al caso particular de este efluente, es importante evitar que los hidrocarburos presentes en el mismo se evaporen. Por esta razón, es muy importante que las piletas API estén tapadas para evitar que se liberen COVs a la atmósfera. Lo mismo ocurre con la unidad DAF. Además, puede haber producción de olores por parte de los reactores biológicos y del manejo de residuos y lodos.

El ruido es mínimo y los impactos por el transporte también ya que no habrá mucho movimiento más allá del retiro de residuos y de la compra de insumos pero sí puede haber contaminación sonora por el ruido de los equipos de las distintas unidades de la PTEL. Estas unidades y los vehículos pueden generar vibraciones pero las mismas serían mínimas.

Al no poseer líneas de alta tensión no hay riesgo de ondas electromagnéticas por parte de los equipos del sistema fotovoltaico.

10.5.5.2.2. Impacto sobre el medio edáfico

Al igual que en la etapa de construcción, es fundamental respetar los procedimientos de disposición de desechos vigentes en el sitio para evitar afectar la calidad del suelo. El manejo de efluentes con hidrocarburos podría afectar la calidad del suelo ante cualquier evento de derrame.

Puede generarse una compactación del suelo por el peso de las unidades y el recambio del terreno. Además de la circulación de vehículos que también genera un impacto negativo en el suelo y el aire.

10.5.5.2.3. Impacto sobre el medio hídrico

La compactación del suelo podría llegar a alterar el escurrimiento superficial natural afectando el drenaje de las aguas. La nivelación del terreno podría interrumpir la dinámica natural de arrastre de sedimentos y relleno de depresiones.

Con respecto a la calidad de agua, el efluente estará tratado por lo que no debería afectar negativamente al curso de agua. Es decir que el impacto sería neutro o positivo ya que el agua está clarificada y apta para desarrollar la vida acuática de la fauna.

Los paneles fotovoltaicos no generan ningún impacto al estar las estructuras enterradas a poca profundidad.

10.5.5.2.4. Impacto sobre el medio biótico

La flora se ve impactada ya que los distintos transportes de materiales implican el movimiento de camiones y de máquinas que pueden llegar a pasar por la cobertura vegetal del terreno. Además, el lugar donde están colocados los paneles solares, debe ser podado regularmente en el caso de que crezca alguna especie de flora ya que el crecimiento de la misma traería aparejado sombreado disminuyendo su eficiencia y generación de energía.

A su vez, la fauna se ve afectada a lo largo de toda la etapa de operación. Ya sea por los ruidos generados por las maquinarias de las distintas actividades o por los obstáculos generados estáticos de los paneles y las unidades. Los camiones además podrían impactar de forma directa a ésta a través de atropellamientos.

Los residuos generados en las actividades, si no son dispuestos como corresponde, pueden ser ingeridos por la fauna. La instalación de las distintas infraestructuras fragmentan el paisaje donde vive la fauna del territorio en cuestión.

10.5.5.2.5. Impacto sobre el medio antrópico

Las distintas actividades realizadas en esta etapa también implicarían mayor riesgo de accidentes para los trabajadores por lo que también es crucial el uso de los EPP.

El paisaje se verá fuertemente modificado sufriendo impactos negativos a lo largo del proyecto. En el caso de los paneles solares, el paisaje podría considerarse positivo ya que la población conoce que los mismos generan energía renovable aumentando la conciencia ambiental y siendo además agradables a la vista.

Un impacto positivo, como resultado de esta etapa, es la generación de empleo de carácter fijo y la mejora de infraestructura asociada a las diversas actividades que implica la operación. También afecta positivamente a los proveedores de insumos y materiales. Otro impacto positivo, aparejado por la operación de los paneles solares es el aumento de la conciencia ambiental por parte de la población al saber que parte de la energía utilizada en la PTEL es limpia. Además que la PTEL en sí es un proyecto que, más allá de ser legalmente obligatorio, es positivo al limpiar los efluentes y volcar al conducto pluvial el agua 100% tratada según la normativa legal vigente.

10.5.5.3. Etapa de Cierre

10.5.5.3.1. Impacto sobre el Medio Atmosférico

La calidad del aire se verá levemente afectada durante la etapa de cierre. Las actividades emitirán gases a la atmósfera y generarán ruidos debido al uso de vehículos de transporte y movimiento de materiales, aunque considerablemente en menor medida que las etapas anteriores. Siendo, una vez finalizada esta etapa, el impacto positivo ya que se dejarán de emitir ruidos y emisiones gaseosas.

10.5.5.3.2. Impacto sobre el Medio edáfico

Se buscará dejar el suelo lo menos impactado posible siendo la reforestación un impacto positivo para el mismo y para las geoformas y el relieve ya que se intentará volver al estado inicial. Generando además las condiciones naturales para la revegetación.

10.5.5.3.3. Impacto sobre el medio biótico

Aunque termine siendo positivo para la fauna y la flora, durante la limpieza ésta se puede ver afectada por el movimiento de personal en la zona de acondicionamiento y posibles atropellamientos. La flora se puede ver afectada también dado el uso de maquinaria.

10.5.5.3.4. Impacto sobre el medio antrópico

Aunque en esta etapa se produzca generación de empleo de carácter temporal, asociado a las actividades que implica la etapa de abandono también se resentirá la disminución de puestos de trabajos y la demanda de insumos y servicios.

Esta etapa mejorará el paisaje.

10.5.6. Análisis de riesgo

El análisis de riesgo es el estudio de las causas de las posibles amenazas y los daños y consecuencias que éstas puedan producir. El mismo se evaluó mediante el producto de dos factores que lo determinan: la magnitud de la pérdida (M) y la probabilidad de que dicha pérdida o daño llegue a ocurrir, es decir el grado de certidumbre (C). Los rangos que pueden tomar estos valores se pueden observar en la tabla 36 y 37 del Anexo. De acuerdo al resultado obtenido, cada tipo de impacto se clasificó de acuerdo a las categorías siguientes:

- **Aceptable:** La combinación de grado de certidumbre-magnitud no representa un riesgo significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata de recursos y no requiere una acción específica para la gestión sobre el factor de vulnerabilidad considerando. Son riesgos con valores entre 0,2 y 0,7 puntos.
- **Tolerable:** Deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, éstas tienen una prioridad de segundo nivel. Son riesgos con valores entre 0,8 y 2 puntos.
- **Inaceptable:** Se requiere desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendrían sobre el sistema. Son riesgos con valores entre 2,1 y 4 puntos.

El cálculo del riesgo de los incidentes a los cuales las personas involucradas con el proyecto pueden verse sometidas se presentan en la tabla 34. La matriz obtenida permite resaltar los riesgos más importantes y optimizar la eficiencia en la asignación de los recursos, tanto humanos como económicos, y de esta forma lograr una mejor gestión ambiental.

Tabla 34: Matriz de riesgos (Fuente: Elaboración propia)

Incidente	Riesgo			Clasificación
	C	M	CxM	
Incendios	0,5	4	2	Tolerable
Explosiones	0,5	4	2	Tolerable
Derrames	1	2	2	Tolerable
Accidentes laborales	0,5	4	2	Tolerable
Inundaciones	1	4	4	Inaceptable
Riesgo eléctrico	1	4	4	Inaceptable

Se observa a partir de esta matriz de riesgos que es importante evitar los accidentes por inundaciones y el riesgo eléctrico sobre todo teniendo en cuenta que poseen el mayor valor de riesgo posible. En segundo lugar, se debe prestar atención a posibles incendios, accidentes laborales, explosiones y derrames. Los derrames no poseen un gran riesgo pero sí son frecuentes al estar trabajando con hidrocarburos por lo que hay que prestar especial atención también. En el caso de los incendios, aunque los mismos no sean frecuentes hay que estar preparados ya que en el caso de que ocurran, al haber productos inflamables, los mismos son muy peligrosos.

El proyecto se desarrolla en un sitio inundable por lo cual es fundamental tener un plan de contingencias para esto. Además, al estar trabajando con paneles fotovoltaicos es muy importante esto último ya que hay riesgo eléctrico. Y ambas cosas combinadas generan un problema aún mayor. Lo mismo ocurre con los incendios, es fundamental evitar que un chispazo genere un incidente de esta índole en el parque solar ya que eso generaría un gran problema al estar trabajando con hidrocarburos.

10.5.7. Plan de gestión ambiental

El plan de gestión ambiental es un plan que establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. También incluye los planes de seguimiento y monitoreo además del plan de contingencias.

10.5.7.1. Plan de prevención y mitigación

Las propuestas de mitigación consisten en un conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos, para asegurar el uso sostenible de los recursos naturales involucrados y la protección del medio ambiente y patrimonio cultural.

A continuación, se establecen las medidas tendientes a minimizar el daño ambiental que pueda producir el proyecto en forma de tabla indicando el efecto que se busca corregir y/o prevenir, la etapa del proyecto en la cual se genera, descripción de la medida, responsable de ejecución de la misma e indicadores de éxito:

Tabla 35: Medidas para minimizar los impactos negativos (Fuente: Elaboración propia)

Medida n°1: Cursos de capacitación	
Etapa	Previo al inicio de la construcción
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	<ul style="list-style-type: none"> - Accidentes de trabajo durante las etapas del proyecto - Fallas técnicas - Molestias a la población - Obstrucción del tránsito y transporte público - Deterioro de instalaciones y servicios - Derrames o incendios accidentales - Riesgo eléctrico
Descripción	Se realizarán cursos de capacitación para todas las personas que participan directa o indirectamente en las tareas de todo el proyecto.
Indicadores de éxito	Asistencia y examen a los participantes
Personal a cargo	Profesional de HSE (Seguridad, Higiene y Medio ambiente)
Medida n°2: Control De Excavaciones, Remoción Del Suelo Y Cobertura Vegetal	
Etapa	Construcción
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	<ul style="list-style-type: none"> - Afectación de la Calidad de Suelo y Escurrimiento Superficial - Afectación a la Flora y Fauna - Afectación del Paisaje y la Seguridad de Operarios
Descripción	El contratista deberá controlar las excavaciones, remoción del suelo y cobertura vegetal en toda la zona de obra. Si son innecesarios se deberán evitar. Si el riesgo a los operarios no es mayor se optará por realizar el trabajo de manera manual.
Indicadores de éxito	Ausencia de excavaciones y remociones de suelo innecesarias y ausencia de reclamos por parte de autoridades y pobladores locales.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°3: Control de emisiones gaseosas, material particulado, Ruidos y Vibraciones	
Etapa	Durante todo el proyecto
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	<ul style="list-style-type: none"> - Afectación de la Calidad del Aire, Flora y Fauna - Afectación de Agua, Suelo y Paisaje - Afectación a Seguridad de Operarios y Salud de la Población
Descripción	Las tareas de movimiento de suelos deberían ser evitadas en días muy ventosos. Se evitará el uso de máquinas que producen niveles altos de ruidos simultáneamente con la carga y transporte de camiones de los suelos extraídos, debiéndose alternar dichas tareas dentro del área de trabajo. Se deberá verificar el correcto funcionamiento de los motores a explosión para evitar desajustes en la combustión que pudieran producir

	emisiones de gases fuera de norma.
Indicadores de éxito	Ausencia de altas concentraciones de material particulado y/o polvo en suspensión. Disminución de emisiones gaseosas e inexistencia de humos en los motores de combustión. Ausencia de enfermedades laborales en operarios y migración de la fauna silvestre. Ausencia de reclamos por parte de los pobladores locales. Ausencia de contaminación en los cursos de agua.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°4: Control del acopio y utilización de materiales e insumos	
Etapa	Construcción y operación
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Afectación de Calidad de Suelo y Escorrimento Superficial - Afectación a la Seguridad de los Operarios y al Paisaje.
Descripción	Controlar los sitios de acopio y las maniobras de manipulación y utilización de materiales e insumos como productos químicos, a los efectos de reducir los riesgos de contaminación ambiental. Este control debe incluir la capacitación del personal responsable de estos productos en el frente de obra. Todo producto químico utilizado en la obra debe contar con su hoja de seguridad en un lugar accesible donde conste claramente la peligrosidad del producto, las medidas de prevención de riesgos para las personas y el ambiente y las acciones a desarrollar en caso de accidente a las personas o al medio ambiente
Indicadores de éxito	Ausencia de no conformidades por parte del auditor. Ausencia de accidentes relacionados con estos productos. Ausencia de reclamos por parte de las autoridades y pobladores locales.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°5: Control de vehículos, equipos y maquinaria pesada	
Etapa	Durante todo el proyecto
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Afectación de la Fauna, Paisaje y Actividades Económicas - Afectación de la Seguridad de Operarios y Población.
Descripción	Controlar el correcto estado de manutención y funcionamiento del parque automotor, camiones, equipos y maquinarias pesadas, tanto propio como de los subcontratistas, así como verificar el estricto cumplimiento de las normas de tránsito vigentes, en particular la velocidad de desplazamiento de los vehículos. El contratista deberá elaborar manuales para la operación segura de los diferentes equipos y máquinas y el operador estará obligado a utilizarlos y manejarse en forma segura y correcta. Los equipos pesados para el cargue y descargue deberán contar con alarmas acústicas y ópticas, para operaciones de retroceso.
Indicadores de éxito	Ausencia de no conformidades por parte del auditor. Ausencia de reportes de accidentes de operarios y población.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°6: Control de la correcta gestión de residuos tipo sólido urbano y peligrosos	
Etapa	Construcción y operación
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Afectación de la Salud - Afectación de la Calidad de Aire, Agua, Suelo y Paisaje.
Descripción	Disponer de los medios necesarios para lograr una correcta gestión de residuos durante todo el desarrollo de la obra. Contar con recipientes adecuados y en cantidad suficiente para el almacenamiento seguro de los residuos producidos. Disponer de terceros contratados a tal fin para retirar y disponer los residuos peligrosos generados de acuerdo a las normas vigentes.
Indicadores de éxito	Ausencia de residuos dispersos en el frente de obra. Ausencia de enfermedades laborales.
Personal a cargo	El contratista

Medida n°7: Controlar el mantenimiento operativo de la planta y del parque	
Etapa	Operación
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Riesgos por deficiencias de mantenimiento, incluido el cese del funcionamiento (contingencias operativas). - Accidentes laborales
Descripción	El operador de la planta deberá contar con un Manual de Operación de la misma, donde se describan las tareas, frecuencias de aplicación y asignación de responsabilidades relacionadas con el mantenimiento operativo y preventivo de la planta.
Indicadores de éxito	Nº incidentes operativos/ año.
Personal a cargo	Operador de la planta
Medida n°8: Elaborar "Planes de contingencias" y sistemas de alarma específicos	
Etapa	Previo a la etapa de construcción
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	-Impactos múltiples por desperfectos o contingencias (derrames, incendios, inundaciones...)
Descripción	Elaborar un Plan de Contingencias apropiado para cada eventualidad y cada etapa.
Indicadores de éxito	Nº de planes de contingencia elaborados / Nº EIA.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°9: Protección de la fauna y flora	
Etapa	Durante todo el proyecto
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Afectación a la flora y la fauna
Descripción	Evitar que los operarios remuevan ejemplares de fauna. Prohibir cualquier tipo de caza o daño a la fauna. Se levantará todo material que se utilice en las operaciones ya que los mismos pueden ser ingeridos por la fauna. Se respetarán madrigueras, nidos, y cualquier manifestación de actividad faunística presente en el área de influencia.
Indicadores de éxito	Ausencia de animales dañados. Ausencia de flora extraída.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°10: Contención de posibles derrames	
Etapa	Construcción y Operación
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Seguridad del personal - Afectación del suelo, agua y aire -Afectación de la flora y la fauna
Descripción	Durante la tarea de carga en las maquinarias se deberán colocar bandejas ecológicas para contener las posibles fugas de combustibles. Se mantendrán cercano al área de carga un equipo de contención de derrames (material absorbente, pala y contenedor). Los tanques de almacenamiento de combustible deberán contar con bandeja colectora de posibles derrames también.
Indicadores de éxito	Ausencia de animales dañados. Ausencia de flora extraída.
Personal a cargo	El contratista
Medida n°11: Restauración de las funciones ecológicas	
Etapa	Cierre
Efecto(s) a corregir y/o prevenir.	- Destrucción de ambientes naturales - Alteración de la llanura de inundación de los cursos - Cambios en la dinámica de nutrientes y descomposición. - Modificación de la calidad del agua para la vida acuática. - Alteración de las comunidades acuáticas.
Descripción	Dejar las áreas de trabajo en condiciones iguales o lo más similares posibles al principio de la obra. Se deberá recrear las condiciones favorables para aumentar la producción de

	la vegetación nativa, restituyendo las características del suelo, y eliminando las especies exóticas o invasoras.
Indicadores de éxito	Grado de recuperación de las condiciones originales
Personal a cargo	Responsable de HSE

Además de las medidas recién mencionadas es importante aclarar que, en el caso de que se realice algún hallazgo arqueológico, histórico o paleontológico, se deberán frenar las actividades independientemente de la etapa del proyecto. Según las leyes nacionales 25.568 y 25.743 se debe delimitar la zona e informar a la autoridad que corresponda sobre el suceso. Hasta que la autoridad no brinde su aprobación no se podrán retomar las actividades.

10.5.7.2. Plan de seguimiento y monitoreo

Este plan consiste en la evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de las actividades ejecutadas en el proyecto durante todas sus etapas, con el fin de identificar posibles impactos que puedan alterar la calidad ambiental.

Este plan consiste en las siguientes medidas:

1) **Monitoreo y control del nivel sonoro (ruido y vibraciones):**

- Ruido audible en dBA (Norma IRAM 4062 Ruidos Molestos al Vecindario). Frecuencia mensual.
- Atenuación de ruidos, así como de emisiones gaseosas y de material particulado a través de la implementación de: silenciadores en maquinarias, uso de combustibles de bajo contenido de azufre, filtros, y reducción del tiempo de exposición a fuentes de emisión.

2) **Monitoreo de calidad de agua superficial:**

- Registro de precipitaciones y datos meteorológicos
- Parámetros a monitorear: pH, conductividad, sólidos totales, DBO₅, DQO, Nitrógeno y Fósforo Total, análisis bacteriológico y carga iónica general. Frecuencia: diaria y estacional.

3) **Monitoreo y control de los principales contaminantes atmosféricos generados:**

- Parámetros: Material particulado en suspensión (PM10), CO, SO₂ y COVs y Nivel de Olores. Frecuencia: mensual
- Entrenamiento del personal en el manejo operativo del equipamiento a fin de reducir afectaciones a la calidad del aire.

- Conocimiento y cumplimiento de normas de seguridad durante la ejecución del monitoreo.

10.5.7.3. Plan de contingencias

El plan de contingencias tiene por finalidad proporcionar mecanismos de respuesta oportunos y eficientes para responder ante la manifestación eventual de incidentes, con el propósito de minimizar la magnitud y extensión de los daños a las personas e instalaciones que el evento pudiera generar. Entre estos eventos se destacan las inundaciones, el riesgo eléctrico, los incendios, accidentes laborales y derrames.

Se deberá controlar la elaboración e implementación del Programa de Prevención de Emergencias y Contingencias Ambientales para atender estos eventos catastróficos teniendo en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- La identificación y zonificación de los principales riesgos ambientales en la zona.
- Estructura de responsabilidades y roles dentro de la compañía para atender las emergencias.
- Mecanismos, criterios y herramientas para la prevención de estos riesgos.
- Mecanismos y procedimientos de alerta.
- Equipamiento necesario para afrontar las emergencias identificadas.
- Necesidades de capacitación para el personal destinado a atender estas emergencias.
- Mecanismos para la cuantificación de los daños y los impactos producidos por las contingencias. Procedimientos operativos para atender las emergencias.
- Identificación de los mecanismos de comunicación necesarios durante las emergencias
- Capacitación del personal sobre los roles de la contingencia y realizar entrenamientos periódicos y simulacros.
- Verificar los teléfonos de emergencia en forma periódica.

10.6. Legislación aplicable

Tabla 36: Legislación aplicable al proyecto (Fuente: Elaboración propia)

Legislación Supranacional	
Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del Mercosur	El principal objetivo es generar un compromiso para la protección del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales, con vistas de alcanzar una calidad de vida, desarrollo económico, social y ambiental sustentable.
Convenio RAMSAR	Propone la conservación y el uso racional de los humedales.

Convención de las Naciones Unidas sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural	Define como Patrimonio natural a los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal excepcional.
Resolución N° 70/1 de la Asamblea General de los Estados Miembros de las Naciones Unidas	Se establece la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	<ul style="list-style-type: none"> - Protocolo de Kioto: Reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (GEI) - Acuerdo de París: establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
Convención sobre defensa del patrimonio arqueológico, histórico y artístico de las naciones americanas (Convenio San Salvador)	Establece la identificación, registro, protección y vigilancia de los bienes que integran el patrimonio cultural de las naciones americanas, para impedir la exportación o importación ilícita de bienes culturales y para promover la cooperación entre los Estados americanos para el mutuo conocimiento y apreciación de sus bienes culturales.
Legislación Nacional	
Constitución Nacional Art. 41	Reconoce el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. Hace referencia al concepto de desarrollo sustentable y al deber de preservar.
Ley N°25.688	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
Ley N° 25.675	Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica, y la implementación del desarrollo sustentable.
Ley N° 25.831	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar el derecho de acceso a la información ambiental.
Ley N°19.587	Establece las condiciones de higiene y seguridad del trabajo a las que deberán ajustarse todos los establecimientos y explotaciones, cualquiera sea su naturaleza.
Ley N°24.557	Establece el nuevo sistema integral de prevención de riesgos del trabajo (SIPRIT), y el régimen legal de las aseguradoras de riesgos de trabajo (ART).
Ley N°20.284	Establece criterios para prevenir las condiciones necesarias para garantizar la preservación del medio atmosférico. Con un plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas.
Ley N°25.438	Aprueba el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
Ley N°22.421	Establece que la fauna silvestre es de interés público y debe protegerse, conservarse, propagarse, repoblarse y aprovecharse de manera racional.
Ley N° 17.319 (Ley de Hidrocarburos) y su modificación por la Ley N° 26.197	Establece que los yacimientos de hidrocarburos líquidos y gaseosos situados en el territorio de la República Argentina y

	<p>en su plataforma continental, pertenecen al patrimonio del Estado nacional o de los Estados provinciales, según el ámbito territorial en que se encuentren y de su magnitud. Mientras que, las actividades relativas a la explotación, industrialización, transporte y comercialización de los hidrocarburos estarán a cargo de empresas estatales, empresas privadas o mixtas, conforme a las disposiciones de esta ley y las reglamentaciones que dicte el Poder Ejecutivo. Las provincias, como Autoridad de Aplicación, ejercerán las funciones de contraparte de los permisos de exploración, las concesiones de explotación y de transporte de hidrocarburos</p>
Ley N° 26.741	<p>Declara de interés público nacional y como objetivo prioritario de la República Argentina el logro del autoabastecimiento de hidrocarburos, así como la exploración, explotación, industrialización, transporte y comercialización de hidrocarburos, a fin de garantizar el desarrollo económico con equidad social, la creación de empleo, el incremento de la competitividad de los diversos sectores económicos y el crecimiento equitativo y sustentable de las provincias y regiones.</p>
Resolución 342/93	<p>Establece que las empresas operadoras de áreas de exploración y explotación, en función de los Estudios Ambientales, deben presentar Planes de Contingencia que evalúen los daños potenciales, detallen las medidas preventivas y la organización de respuesta prevista, así como los medios de control a proveer.</p>
Ley N° 25.743	<p>Establece la preservación, protección y tutela del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico como parte integrante del Patrimonio Cultural de la Nación y el aprovechamiento científico y cultural del mismo.</p>
Ley N° 25.568	<p>Aprueba la Convención sobre defensa del patrimonio arqueológico, histórico y artístico de las naciones americanas - Convención de San Salvador - adoptada en Washington, Estados Unidos.</p>
Ley N° 25.612	<p>Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.</p>
Ley N° 25.916	<p>Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios.</p>
Ley N° 24.051	<p>Reglamenta todo lo relacionado a la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos</p>
Ley N° 27.191	<p>Establece el régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.</p>
Ley N° 27.424*	<p>Fija las políticas y establece las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de</p>

	excedentes a la red, y establece la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias.
Decreto 499/2017	Habla sobre la adhesión de Argentina a la Agenda 2030 de los ODS. Se brindará el adecuado monitoreo, seguimiento y evaluación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030.
Legislación Provincial	
Ley N° 11.723	Define que cualquier realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deben obtener en forma previa a su materialización, una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). El procedimiento tendiente a obtener la DIA, se conoce como Evaluación de Impacto Ambiental y se inicia con la presentación del Estudio de impacto ambiental por parte del promotor del proyecto ante la Autoridad Ambiental Jurisdiccional según corresponda. También habla sobre mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica.
Ley N° 12.247	Declara paisaje protegido de interés provincial a la cuenca del arroyo El Pescado desde su nacimiento hasta su desembocadura.
Ley N° 12.756	Declara al monte ribereño Isla Paulino e Isla Santiago como paisaje protegido de interés provincial para el desarrollo ecoturístico.
Ley N° 10.907	Habla sobre el régimen de reservas naturales provinciales.
Ley N° 11.459	Establece que todos los establecimientos industriales deberán contar con el pertinente Certificado de Aptitud Ambiental como requisito obligatorio indispensable para que las autoridades municipales puedan conceder, en uso de sus atribuciones legales, las correspondientes habilitaciones industriales.
Decreto 3395/96	Habla sobre la protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.
Legislación Municipal	
Ordenanza 2.512/02	Establece el planeamiento para la zonificación del Partido de Berisso, referente a Uso, Ocupación, Subdivisión y Equipamiento del Suelo.

*Como se mencionó anteriormente esta ley aún no fue aprobada en la Provincia de Buenos Aires ya que es una ley optativa donde cada provincia decide adherir o no. Actualmente, la misma ha sido aprobada por diputados. De todas maneras, la refinería consumirá el 100% de la energía generada por lo que no se inyectará energía a la red.

Cabe aclarar que para confeccionar esta tabla, se colocaron las leyes más recientes por lo que incluyen también sus leyes anteriores y modificatorias. Las mismas fueron obtenidas de la página del Gobierno (<http://www.infoleg.gob.ar/>) y de la página de OPDS y del Municipio de Berisso.

10.7. Conclusiones del EIA

Se puede concluir que el objetivo general de la EIA pudo ser completado. Se lograron identificar y evaluar los posibles impactos del proyecto tanto positivos como negativos y se propusieron las medidas necesarias para que el proyecto sea viable.

Los impactos positivos fueron relacionados en su mayoría con aspectos económicos y sociales como la generación de empleo y el aumento de ganancias para los comerciantes aledaños. Además, la operación del parque solar genera distintos impactos positivos por evitar utilizar combustibles fósiles y también en la demanda energética al generar energía limpia utilizable.

Por otro lado, los impactos negativos se ven relacionados sobre todo al impacto en el medioambiente afectando tanto al medio biótico como al físico pero sobre todo al suelo y al ruido. La salud y seguridad de los empleados pueden verse afectadas negativamente también aunque no en gran medida. Los peores puntajes los poseen la infraestructura de servicio y generación de empleo, pero esto es generado solamente por el cese de las actividades ya que el resto de las mismas poseen impactos positivos sobre estos factores.

A raíz de esta evaluación, de los posibles impactos negativos, se vio que ninguno de los mismos son limitantes o restrictivos para la ejecución del proyecto, por lo que resulta ambientalmente y socialmente viable siempre y cuando se cumplan estrictamente todas las medidas de mitigación indicadas y el plan de contingencias además de realizar las actividades de monitoreo sobre las variables ambientales afectadas como se indica en el plan de monitoreo y seguimiento.

Cabe aclarar que el área no volverá a su estado inicial de manera completa pero se llegará a un estado muy similar al inicial.

11. Planos

Los planos de las unidades de la PTEL y del parque solar se pueden observar en el punto 14.2 del Anexo: Planos del proyecto. Los mismos incluyen:

- Vista en planta de la PTEL

- Vista en planta de la PTEL y parque solar ocupando el espacio total del proyecto
- Planos de todas las unidades:
 - Ecuilizador
 - Separadores API
 - DAF
 - Reactores secundarios
 - Sedimentadores secundarios
 - Cámara de cloración
 - Cámara de muestreo y medición de caudales

Dentro de los planos de cada unidad se puede observar el pelo de agua. Cabe mencionar que no se colocaron las tapas de los separadores API ni del ecualizador ni de la unidad DAF para poder observar con mayor claridad la vista en planta de las unidades. Tampoco se observan los pilares donde se apoyan los separadores API.

12. Conclusiones y recomendaciones

A partir de lo analizado a lo largo de todo el proyecto, se puede concluir que se pudieron cumplir los objetivos del mismo. Se presentó el diseño y cálculo de la planta de tratamientos de efluentes líquidos de la refinera en cuestión, en función de la caracterización de los contaminantes presentada. Definiendo las mejores tecnologías a ser aplicadas, se logró llegar a cumplir la normativa ambiental de vuelco evitando dañar el cuerpo de agua y el ecosistema asociado. Adicionalmente, se pudo dimensionar el parque fotovoltaico asociado a la PTEL, en el espacio disponible que había para el proyecto, obteniendo la neutralidad en carbono de la misma.

Por otra parte, en función a la evaluación de impacto ambiental, se pudo definir que el proyecto era viable desde un punto de vista ambiental y social. Gracias a los cálculos y presupuestos, se pudo determinar que, tanto la PTEL como el parque solar, eran rentables desde un punto de vista económico. Esto último permite concluir entonces que la totalidad del proyecto es viable desde un punto de vista tanto técnico como ambiental, legal, social y económico.

Finalmente, el proyecto pudo suplir las necesidades de la empresa contratante de ser una refinería más sustentable y de alinearse con los ODS 6, 7, 9, 12, 13,14 y 15. No sólo promoviendo la energía asequible y no contaminante pero también evitando contaminar la vida acuática, terrestre y el agua.

12.1. Recomendaciones

Como recomendaciones principales para mejorar la calidad del proyecto, se recomienda la realización de toma de muestras específica de los efluentes y una caracterización de laboratorio más completa. Es decir, realización de jar-test y de la cinética de los microorganismos, entre otros estudios preliminares.

Por la inundabilidad de la zona, se recomienda también la realización de un estudio de suelos completo para verificar la colocación de las unidades de la PTEL y las estructuras de los módulos fotovoltaicos.

A continuación, se enuncian algunas recomendaciones más a tener en cuenta para posibles mejoras en este proyecto específicamente sobre la PTEL:

- En el caso de este proyecto, se decidió tratar las aguas oleosas, como el agua de lluvia en contacto con HC o fondos de tanques, en la PTEL. Otra posibilidad a analizar podría ser la de llevar este tipo de aguas por un tratamiento diferencial como API, DAF, filtros de cáscara de nuez y eventualmente un tratamiento biológico en función de la composición de estas aguas. Esto último puede ser recomendable ya que estas corrientes poseen altos caudales.
- Incluir en el análisis de alternativas de tratamiento secundario a la tecnología de MBR ya que, más allá de que el costo pueda llegar a ser mayor, es un tratamiento que permite el reuso del agua y este punto es cada vez más importante a tener en cuenta en las nuevas industrias, especialmente refinerías que poseen un alto consumo de agua. Además, es una tecnología que también sirve para desinfectar por lo que podría llegar a evitarse el proceso de cloración evitando la posible generación de DBPS y ocupando menos espacio, permitiendo colocar una mayor cantidad de módulos fotovoltaicos. Por otra parte, los costos de esta tecnología cada vez son menores a medida que pasan los años.
- Otra alternativa que podría incluirse para analizarse en mayor profundidad como tratamiento secundario sería la combinación de MBBR (u otro sistema con biomasa fija como primer desbaste) con lodos activados.

- Analizar la posibilidad de instalar un sistema de decoloración con metabisulfito de sodio para asegurarse que no haya cloro libre a la salida del vuelco.
- Se podría analizar la posibilidad de usar un material como el PRFV (poliéster reforzado de fibra de vidrio) para las conducciones de la PTEL ya que posee aún mayor resistencia a la corrosión y a la humedad que el PVC.
- Analizar los HC presentes en el lodo biológico y, en el caso de que no se encuentren, disponer de estos lodos por otra vía que los oleosos para disminuir costos de OPEX.
- En el caso de realizar estudios de laboratorio, se recomienda revisar el dimensionamiento de la planta y analizar los porcentajes de remoción de las unidades. En función de este análisis, revisar también el consumo energético en función de las nuevas bombas y sistemas de aireación y presurización a implementar.

12.2. Conclusión personal

La realización de este proyecto final integrador llevó muchas horas de dedicación. El mismo involucró búsqueda de bibliografía, redacción, cálculos y, por sobre todo, realización de los planos en AutoCAD. Este proceso llevó mucho esfuerzo ya que al haberlo realizado trabajando siempre full-time, en distintas empresas, fueron muchos fines de semana de estudio.

Más allá de las horas dedicadas, creo que la realización del mismo es necesaria para poder integrar todos los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera. Por lo cual, haberlo finalizado me genera felicidad y orgullo.

Quiero agradecer, primero que nada, a la UNSAM y a todos los docentes maravillosos que en ella se desempeñan por haberme dado las herramientas para realizar este proyecto y para mi desarrollo profesional como Ingeniera Ambiental. En segundo lugar, agradecer a mi familia por haber estado presente a lo largo de todo el proceso y a todos mis amigos y amigas por haberme acompañado en las extensas horas de estudio. Finalmente, agradecer a mi mentor por haberme ayudado a pensar este proyecto y haber tenido la posibilidad de conocer una refinería de petróleo en vivo y en directo.

13. Bibliografía

- Nacheva, P.M., 2011. In: Jha, M. (Ed.), *Water Management in the Petroleum Refining Industry, Water Conservation. InTech, ISBN 978-953-307-960-8*. [Online] Available from:<http://www.intechopen.com/books/water-conservation/water-management-in-the-petroleumrefining-industry>.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1982). *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Petroleum Refining Point Source Category*, Washington, D.C.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1980). *Treatability manual*, EPA 600/8-80- 042E, Vol. 1, 2, 3, 4, 5. Washington, D.C.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) and US AID (US Agency for International Development). (1980). *Guidelines for Water Reuse*, EPA 625/R-92/004, USA.
- Curso: *Introducción a la industria petrolera* brindado para sus becarios en el 2020 por YPF
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1995). *Profile of the Petroleum Industry*. EPA/310-R-95-013. Washington, D.C.
- WB (World Bank). (1998). *Pollution Prevention and Abatement Handbook: Petroleum Refining*, Technical Background Document, Environment Department, Washington, D.C.
- YPF. (2015). La Refinería La Plata cumplió 90 años. 2020, de YPF Sitio web: <https://www.ypf.com/YPFHoy/YPFSalaPrensa/Paginas/Noticias/La-Refineria-La-Plata-cumplio-90-anos.aspx>
- Desconocido. (2013). INDUSTRIALIZACIÓN DEL PETRÓLEO. 2020, de Universidad Central del Ecuador Sitio web: http://www.iquce.edu.ec/images/proceso_refina.pdf
- Ing. Omar Jorge Ortiz Ing. Eduardo Enrique de Casas. (2006). *Nueva planta de lodos activados para el tratamiento de los efluentes líquidos del Complejo Industrial Refinería Luján de Cuyo*. Petrotecnia, 2, 72
- Osvaldo N. Alday, Eduardo R. Botta, Daniel A. Redondo. (2011). *Aspectos técnicos, estratégicos y económicos de la refinación del petróleo*. IAPG: Ronor.
- Shahryar Jafarinejad. (2017). *Petroleum Waste treatment and pollution control*. Elsevier: Elsevier Inc.
- PAREDES SILVA, RONALD ANDRES. (2016). ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO EN LA

COSTA CENTRAL DEL PERÚ. 2020, de UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA : tesis

- Fagan, Alphonsus J. *An Introduction to the Petroleum Industry*. Government of Newfoundland and Labrador, Dept. of Mines and Energy, 1991.
- Roldán, Laura Fdez. "Cómo Se FORMA EL PETRÓLEO - Resumen Del Proceso." *Ecologiaverde.com*, 23 Junio 2020, www.ecologiaverde.com/como-se-forma-el-petroleo-2814.html.
- *Secretaría De Energía y Minería*, servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/65000-69999/68859/norma.html.
- Hyne, Norman J. *Nontechnical Guide to Petroleum: Geology, Exploration, Drilling and Production*. PennWell, 2019.
- Redacción. "El Petróleo De Vaca Muerta No Es Color Petróleo." *Diario Río Negro*, Diario Río Negro, 28 Feb. 2020, www.rionegro.com.ar/el-petroleo-de-vaca-muerta-no-es-color-petroleo-1269137/.
- *El abecé Del petróleo y Del Gas En El Mundo y En La Argentina*. Instituto Argentino Del Petróleo y Del Gas, 2009.
- "¿Cómo Funciona Una Refinería?" *YouTube*, YPF, 6 Jan. 2016, youtu.be/tFJ064TLW4E.
- Nanda Singh. "Argentina Inició El Año 2020 Cubriendo El 8% De La Energía Eléctrica Demandada Con Energías Renovables." *Energía Estratégica*, 21 Feb. 2020, www.energiaestrategica.com/argentina-inicio-el-ano-2020-cubriendo-el-8-de-la-energia-electrica-demandada-con-energias-renovables/.
- Mastronardi, et.al. (2019). Escenarios energéticos 2030, de Secretaría de gobierno de energía del Ministerio de Hacienda Sitio web: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/2019-1-14_SsPE-SGE_Documento_Escenarios_Energeticos_2030_ed2019_pub.pdf
- "Objetivos De Desarrollo Sostenible: PNUD." *UNDP*, www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html.
- "Información Legislativa." *InfoLeg*, servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/texact.html.
- Diego Golombek y Diego Ruiz. (2017). *Vos y la energía - La matriz energética en la escuela*, de Fundación YPF Sitio web: https://fundacionypf.org/VosylaEnergia/downloads/Vos_y_la_Energia_guia_9.pdf
- Marysol Materán Sánchez. (2018). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REFINERÍAS DE*

PETRÓLEO - UNA MIRADA A LOS ESFUERZOS Y ACCIONES LLEVADAS A CABO POR LA INDUSTRIA DE LA REFINACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL Y REGIONAL. enerLAC, II - Número 2, 37

- “Índice De Complejidad Nelson.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 8 Sept. 2019, es.wikipedia.org/wiki/Índice_de_complejidad_Nelson.
- “Refinería o Tratamiento De Agua Residual Petroquímica.” *Refinería o Tratamiento De Agua Residual Petroquímica The PSC Task Refinery Wastewater Treatment*, www.pscengineering.com/task-refinery-wastewater-treatment-es.php.
- Katherine Castro. (Desconocido). *Propuesta de modificaciones al instructivo de presentación de tesis de la USFQ*. USFQ (Universidad de San Francisco de Quito)
- Grupo Alfonso Gallardo. (Desconocido). Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura. Refinería Balboa
- Tom Schultz. (2006). *Basic industrial wastewater treatment workshop*. 2021, de Siemens
- “Refinería La Plata. Cómo Será El Gigante De YPF Que Renovará El Negocio Petrolero Local.” *Revista Petroquímica, Petroleo, Gas, Química & Energía*, 15 Mar. 2016, www.revistapetroquimica.com/refineria-la-plata-como-sera-el-gigante-de-ypf-que-renovara-el-negocio-petrolero-local/.
- “Objetivos De Desarrollo Sostenible - Contribución De Repsol.” *REPSOL*, 18 Feb. 2021, www.repsol.com/es/sostenibilidad/estrategia-sostenibilidad/contribucion-ods/index.html.
- ENERGY STAR. (2015). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries*. EPA. Recuperado el 01 de Septiembre de 2017, [de https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-efficiency-improvement-and-cost-saving-opportunities-petroleum-refineries](https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-efficiency-improvement-and-cost-saving-opportunities-petroleum-refineries)
- Marysol Materán Sánchez. (Diciembre 2018). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REFINERÍAS DE PETRÓLEO* . Enerlac, II, 37.
- SALVADOR DIAZ HUERTA. (2013). *PROPUESTA TÉCNICA PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.*. Universidad Nacional Autónoma de México: Tesis.

- Juan Antonio Sainz Sastre. (2007). Tecnologías para la sostenibilidad Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Colección EOI Medio Ambiente: Fundación EO.
- R. S. Ramalho. (NE). *Tratamiento secundario: El proceso de lodos activos*.
- JAVIER CONTRERAS BARRERA. (2010). MODELACIÓN DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO EN PLANTA DE LODOS ACTIVADOS. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL: MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.
- Ing. Víctor Maldonado Yactayo. (NE). *Capítulo 7: Sedimentación*. En Manual I: Teoría (61)
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION, (2005), *Manual of Practice FD-8: Clarifier Design*
- “Servicio Meteorológico Nacional Presidencia De La Nación.” Servicio Meteorológico Nacional, www.smn.gov.ar/clima/atlasclimatico
- Secretaría de economía. (2001). *CALIDAD DEL AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE Y CLORO TOTAL - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMXAA-108-1992)*. Estados Unidos Mexicanos
- JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS. (2012). *Resolución N° 607/2012*. 2021, de Ministerio de justicia y derechos humanos, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, InfoLEG Sitio web: <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/195000-199999/195663/texact.htm>
- Warren L. McCabe, Julian C. Smith & Peter Harriot. (2007). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA*. Capítulo 8. Séptima Edición: McGraw-Hill.
- Gobierno de Buenos Aires. (2021). *Planilla operadores in situ y transportistas de residuos peligrosos*. 2021, de OPDS Sitio web: https://www.buenosaires.gov.ar/sites/gcaba/files/tramites/planilla_transportistas_de_residuos_peligrosos_junio.pdf
- Facultad de ingeniería (FIUBA). (NE). *Deshidratación de lodos*. 2021, de UBA Sitio web: http://fi.uba.ar/archivos/Deshidratacion_de_lodos_v2.pdf
- PATRICIA HERNANDO MARCOS. (2011). *PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PROCESO (EDARI) DE UNA PETROQUÍMICA*. Tesis escuela de organización industrial de Madrid
- Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA). (NE). *CRITERIOS BÁSICOS PARA EL ESTUDIO Y EL DISEÑO*

- “Planta De Tratamiento De Lodos Con Centrifuga: SERECO GESTION.” Planta De Tratamiento De Lodos Con Centrifuga | SERECO GESTION, 11 May 2021, www.serecogestion.com/tratamiento-de-lodos/centrifuga-tratamiento-lodos/.
- K. E. Bush. (1980). *Refinery wastewater treatment and reuse*. En *Industrial wastewater and solid waste engineering*. Chemical Engineering: McGraw-Hill Publication.
- Apuntes clase “Procesos Industriales en Ingeniería Ambiental” (UNSAM, 2018)
- Apuntes clase “Diseño de tratamiento de efluentes” (UNSAM, 2020)
- <http://www.berisso.gov.ar/pdfs/mapas/cartografia.pdf> (Municipio de Berisso, CISAUA, NE)
- “SISTEMAS DE AIREACIÓN.” *Repicky*, repicky.com.ar/site/sistemas-de-aireacion/
- Vicente CONESA FERNANDEZ-VITORA . (1993). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. 1997, de INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL Sitio web: http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf
- ARS (2019). *Elaboración de contenidos generales para la conformación del programa básico Preliminar, Ley 13592, de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, Decr. Reglamentario 1215/10 para el municipio de Berisso.. Consejo Federal de Inversiones Provincia de Buenos Aires, De* <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2019/12/pbp-para-la-girsu-berisso-final.pdf> Base de datos.
- Metcalf&Eddy. (2003). *Wastewater Engineering - Treatment and reuse*(1878). Cuarta Edición: McGrawHill.
- W.W. Eckenfelder. (2000). *Industrial Water Pollution Control*. Tercera Edición: McGraw-Hill.
- F. J. Alonso. (2019). *Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria de curtido de pieles ubicada en el Parque Industrial Pilar*. Proyecto Final Integrador: UNSAM.
- NE. (2019). *Paneles fotovoltaicos inteligentes*. de Myeel SA Sitio web: www.myeel.com.ar/solar
- Ministerio de justicia y derechos humanos. (1991). Ley 24.051. Residuos peligrosos. -, de InfoLeg Sitio web: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/450/texact.htm>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. (2018). *Resolución 410/2018*. -, de InfoLeg Sitio web:

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/310000-314999/312348/norma.htm>

- MINISTERIO DE ASUNTOS AGRARIOS Y PRODUCCIÓN. (2003). *Resolución N° 336/03.* ., de Provincia de Buenos Aires Sitio web: <https://normas.gba.gob.ar/documentos/0P3k4eSA.html>
- L. J. Ramos.. (2016). *Mapa: cuánto cuesta la hectárea de campo en cada región de la Argentina.* AgrofyNews, 1.
- PVSyst. (NE). *Project Design.* 2022, de PVSyst Sitio web: https://www.pvsyst.com/help/project_design.htm
- OPDS. (2010). *Ley 11.723.*, de Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Sitio web: <http://www.opds.gba.gov.ar/sites/default/files/Ley%20%2011723.pdf>
- Camilloni, I. y V. Barros (2004). *Aire. Atlas Ambiental de Buenos Aires* (<http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar>).
- Kreimer, A.; D. Kullock y J. B. Valdés (eds.) (2001). *Inundaciones en el Área Metropolitana de Buenos Aires.* Disaster Risk Management Working Paper Series N° 3. The World Bank Disaster Management Facility. Washington, D.C
- D. S. Giuliani. (2020). *Especiación de compuestos asociados a material particulado (MP10 y MP2.5) en La Plata y alrededores: metales, hidrocarburos policíclicos aromáticos, simples y derivados. Evaluación del riesgo asociado.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS DEPARTAMENTO DE QUÍMICA: Tesis Doctoral.
- M. Cabral, D. Muntz, E. Giani, M. Hurtado, M. da Silva, L. Boff, J. C. Palma & C. Sánchez. (2016). Capítulo 1. "Las inundaciones en la Región Capital - Cartografía Temática para el Planeamiento". En *LAS INUNDACIONES EN LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA: ANALISIS DE RIESGO, ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN. HACIA LA CONSTRUCCION DE UN OBSERVATORIO AMBIENTAL(.)*. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ORIENTADO (PIO) CONICET – UNLP (2014-2016): <http://omlp.sedici.unlp.edu.ar/dataset/6660c466-9c3a-4aa8-b5ab-cb969261dd15/resource/c11754fa-eeb2-4e4e-a615-d1b293939ca4/download/01-1-capitulo-1.cisaua-00-original-informe-final-pio-30-3-17-c009.pdf-pdf.pdf>.
- Carsen, A. (2003). *Aportes de Contaminantes y Sedimentos al Río de la Plata Interior. Franja Costera: Calidad de Agua, Sedimentos y Presencia de Contaminantes en Biota* (Segundo Borrador). FREPLATA. Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo - Proyecto PNUD/GEF/RLA/99/G31.

- García, J. M. y Zanandrea, J. F.. (NE). *DINÁMICA HÍDRICA DEL ACUÍFERO PUELICHE EN LA CIUDAD DE LA PLATA Y ALREDEDORES. RESULTADOS PRELIMINARES.* ., ., 7. 2021
- Auge, M. P. . (2005). *HIDROGEOLOGÍA DE LA PLATA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES* . Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino: Departamento de Geología, FCEN, UBA.
- R. F. Bó, F. A. Kalesnik & R. D. Quintana. (2002). *El Río de la Plata como Territorio* (28). FADU: FURBAN y Ediciones Infinito.
- Moschione, F. N. y I. Barrios (1995). *Lista de Anfibios, Reptiles y Mamíferos de la Reserva Natural de Punta Lara (1980-1995)*. (<http://www.reservapuntalara.com.ar>).
- Burkart, A.. *Ojeada sinóptica sobre la vegetación del Delta del Río Paraná*. Darwiniana, 11:457-561.1957). . . ., de . Sitio web: .
- Zuleica Y. Marchettia , Alejandro R. Giraudob , Carlos G. Ramonella e Ignacio M. Barberisc. (NE). *Humedales del río Paraná con grandes lagunas*. CONICET: ..
- López, H. L. (2001). *Estudio y Uso Sustentable de la Biota Austral: Ictiofauna Continental Argentina*. Rev. Cubana Invest. Pesq. Versión electrónica
- OPDS. (1999). *DECRETO DE OBSERVACIÓN Y PROMULGACIÓN DE LA LEY 12247, REF: DECLARACIÓN DE PAISAJE PROTEGIDO DE INTERÉS PROVINCIAL A LA CUENCA DEL ARROYO EL PESCADO*. <https://normas.gba.gob.ar/documentos/04QbNi3x.html>
- Colman Lerner E.; A. Müller; P. Lespade; M. Aguilar; N. Matamoros; U. Schlink; L. Massolo y A. Porta (2011). *Calidad del aire (COV's, MCOV's y mohos) en áreas urbanas e industriales de la región capital, provincia de Buenos Aires*. Primeras Jornadas de Investigación y Transferencia. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- INDEC. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010* <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-999-999-06-098-2010>
- NE. (2020). *El municipio de La Plata impulsa un proyecto para preservar los humedales*. InfoPlatense, <https://www.infoplatense.com.ar/nota/2020-9-15-16-45-0-el-municipio-de-la-plata-impulsa-un-proyecto-para-preservar-los-humedales>
- A. A. Rubilar. (2018). *Estudio de Impacto Ambiental: Parque solar fotovoltaico El alamito 6MVA, Provincia del Neuquen*: <https://ambiente.neuquen.gov.ar/wp-content/uploads/2020/10/EIA-Proyecto-Parque-Solar-El-Alamito-Gaston-Marcote.pdf>.

- Repicky. (NE). *SISTEMAS DE AIREACIÓN*, de Repicky Sitio web: <https://repicky.com.ar/site/sistemas-de-aireacion/>
- NE. (2020). Diferencias entre microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. 2022, de aedyr Sitio web: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/diferencias-entre-microfiltracion-ultrafiltracion--9GWDY>
- S. Judd & D. Judd. (2011). *The MBR book: Principles and Applications of Membrane Bioreactor for Water and Wastewater Treatment*. : Elsevier LTD.

14. Anexo

ANEXO II PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS DESCARGAS LÍMITE ADMISIBLES

GRUPO	PARAMETRO	UNIDA D	CODIGO TÉCNICA ANALITICA	LÍMITES PARA DESCARGAR A			
				Colectora Cloacal	Cond. Pluv. o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (a)	Mar Abierto
I	Temperatura	°C	2550 B	≤45	≤45	≤45	≤45
	pH	upH	4500 H- B	7,0-10	6,5-10	6,5-10	6,5-10
	Sólidos Sedim 10 Min (2)	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos Sedimen 3 Horas (2)	ml/l	Cono Imhoff	≤8,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤2,0	≤1,0	≤5,0	NE (c)
	S.S.E.E. (1)	mg/l	5520 B (1)	≤100	≤50	≤50	≤50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Hidrocarburos Totales	mg/l	EPA 418.1 o ASTM3921- 85	≤30	≤30	Ausente	≤30
	Cloro Libre	mg/l	4500 Cl G (DPD)	NE	≤0,5	Ausente	≤0,5
Coliformes Fecales (f)	NMP/10 0ml	9223 A	≤20000	≤2000	≤2000	≤20000	

II	D.B.O.	mg/l	5210 B	≤200	≤50	≤200	≤200
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤700	≤250	≤500	≤500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤10	≤2,0	≤2,0	≤5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤2,0	≤0,5	≤0,1	≤2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	≤1000	NE	≤1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤10	≤2,0	≤0,1	≤10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤1,0	≤0,5	≤0,1	≤10

III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤3,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cromo Total	mg/l	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤0,2	≤0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	≤0,5	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤0,02	≤0,005	Ausente	≤0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y C	≤2,0	≤1,0	Ausente	≤2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤0,5	≤0,5	≤0,1	≤0,5
	Bario	mg/l	3111 B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plaguicidas Organoclorados (g)	mg/l	6630 B	≤0,5	≤0,05	Ausente	≤0,05
Plaguicidas Organofosforados (g)	mg/l	6630 B	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1	

IV	Nitrogeno total (d)	mg/l	4500 N org B (NTEK)	≤105	≤35	≤105	≤105
	Nitrogeno Amoniacal (d)	mg/l	4500 NH ₃ -F	≤75	≤25	≤75	≤75
	Nitrogeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	≤30	≤10	≤30	≤30
	Fosforo Total (d)	mg/l	4500 PC	≤10	≤1,0	≤10	≤10

Las técnicas utilizadas son las extraídas del Standard Methods- 18 th Edition para análisis de agua de bebida y agua de desecho.

(1) Utilizando éter etílico.

(2) Sólidos sedimentables en 10 minutos y 2 horas. Se coloca 1 litro de muestra bien homogeneizada en un cono Imhoff y luego de 10 minutos ó 2 horas (según sea el parámetro) se lee el volumen sedimentado.

Los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles deberán cumplirse en la Cámara de Toma de Muestras.

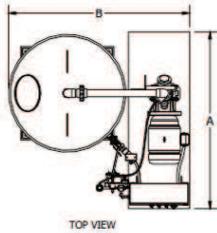
Figura 98: Normativa de vuelco La Plata (Fuente: Resolución 336/03)

Temperatura		Viscosidad absoluta para el agua		Densidad del agua	
°C	°F	poises	lbs/ft-sec	gm/cc	lbs/cu ft
0	32.0	0.017870	0.00120424	0.999	62.351
1	33.8	0.017280	0.00116338	0.999	62.355
2	35.6	0.016710	0.00112407	0.999	62.358
3	37.4	0.016180	0.00108799	0.999	62.360
4	39.2	0.015670	0.00105324	1.000	62.360
5	41.0	0.015190	0.00102059	0.999	62.360
6	42.8	0.014720	0.00098968	0.999	62.359
7	44.6	0.014280	0.00095984	0.999	62.357
8	46.4	0.013860	0.00093135	0.999	62.354
9	48.2	0.013460	0.00090460	0.999	62.350
10	50.0	0.013070	0.00087873	0.999	62.345
11	51.8	0.012710	0.00085427	0.999	62.339
12	53.6	0.012350	0.00083130	0.999	62.333
13	55.4	0.012020	0.00080824	0.999	62.326
14	57.2	0.011690	0.00078681	0.999	62.317
15	59.0	0.011390	0.00076631	0.999	62.309
16	60.8	0.011090	0.00074662	0.999	62.299
17	62.6	0.010810	0.00072761	0.999	62.289
18	64.4	0.010530	0.00070953	0.999	62.278
19	66.2	0.010270	0.00069206	0.999	62.266
20	68.0	0.010020	0.00067533	0.998	62.254
21	69.8	0.009779	0.00065920	0.998	62.241
22	71.6	0.009548	0.00064368	0.998	62.228
23	73.4	0.009325	0.00062883	0.998	62.213
24	75.2	0.009111	0.00061431	0.997	62.198
25	77.0	0.008904	0.00060054	0.997	62.183
26	78.8	0.008705	0.00058710	0.997	62.167
27	80.6	0.008513	0.00057420	0.997	62.150
28	82.4	0.008327	0.00056177	0.996	62.133
29	84.2	0.008148	0.00054967	0.996	62.115
30	86.0	0.007975	0.00053805	0.996	62.097
31	87.8	0.007808	0.00052682	0.995	62.078
32	89.6	0.007647	0.00051600	0.995	62.058
33	91.4	0.007491	0.00050552	0.995	62.038
34	93.2	0.007340	0.00049531	0.995	62.018
35	95.0	0.007194	0.00048550	0.994	61.996
36	96.8	0.007052	0.00047609	0.994	61.974
37	98.6	0.006915	0.00046682	0.994	61.952

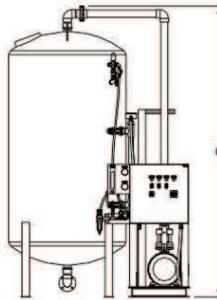
Figura 99: Densidad y viscosidad del agua a distintas temperaturas (Diaz Huerta, 2013)

RSS Recycle Systems

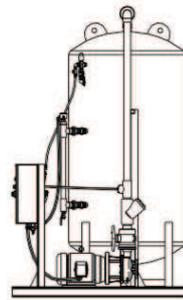
High Flow 50-2000 GPM



TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



Model	Length Width Height			Vessel Diam.	Vessel Material	Inlet Size	Outlet Size	Air Req'd CFH 100 psi	Empty Weight Lbs	Oper. Weight Lbs	Flow Rate GPM (Max)
	A	B	C								
RSS-1850	3'-0"	4'-2"	7'-6"	18"	CS	2"	1.5"	4	783	1003	50
RSS-1860	3'-0"	4'-2"	7'-6"	18"	CS	2"	1.5"	4.5	783	1003	60
RSS-2480	3'-0"	4'-8"	7'-6"	24"	CS	2"	1.5"	6	940	1331	80
RSS-30100	3'-4"	5'-2"	8'-6"	30"	CS	2"	1.5"	7.5	1555	2321	100
RSS-30120	3'-4"	5'-2"	9'-7"	30"	CS	2"	1.5"	9	1705	2625	120
RSS-36150	3'-4"	5'-8"	9'-7"	36"	CS	3"	2"	11	2033	3356	150
RSS-36200	3'-4"	5'-8"	9'-7"	36"	CS	3"	2"	15	2033	3356	200
RSS-42250	3'-4"	6'-2"	9'-7"	42"	CS	3"	2.5"	20	2384	4185	250
RSS-42300	5'-0"	6'-2"	9'-7"	42"	CS	3"	2.5"	22	2631	4432	300
RSS-48350	5'-0"	6'-8"	9'-7"	48"	CS	3"	2.5"	26	3007	5360	350
RSS-54400	5'-0"	7'-2"	10'-8"	54"	CS	4"	3"	30	3677	7150	400
RSS-60450	5'-4"	7'-8"	10'-8"	60"	CS	4"	3"	33	5516	9803	450
RSS-60500	5'-4"	7'-8"	10'-8"	60"	CS	4"	4"	37	5516	9803	500
RSS-60550	5'-4"	7'-10"	10'-8"	60"	CS	4"	4"	40	5718	10310	550
RSS-66650	5'-4"	7'-10"	10'-8"	65"	CS	6"	4"	45	6375	11950	650

Dimensions, design, weights and capacities are not for construction and are subject to change without notice.

Air requirement is a volumetric estimate and is subject to change depending on application details.

Figura 100: dimensiones del modelo RSS seleccionado (Fuente:

<https://www.panamenv.com/wp-content/uploads/2019/07/RSS-RECYCLE-SATURATION-SYSTEMS-FOR-DAF.pdf>)

Coagulant	Optimal doses, mg/L	Removal efficiencies, %								
		R1-Effluent Second Stage Separator			R2-Effluent API-D1			R2-Effluent API-D2		
		O&G	COD	TSS	O&G	COD	TSS	O&G	COD	TSS
Aluminium sulphate (SAS)	50	62	67	83	62	63	69	61	62	76
PAX-XL60S	45	64	67	84	-	-	-	-	-	-
PAX-260XLS	30	-	-	-	64	66	80	66	67	78
PAX-16S	30	65	68	85	66	70	86	67	68	77
PAX-XL19	40	63	65	80						
Ferric chloride (PIX-111)	15	-	-	-	75	66	85	78	65	77
Ferric sulphate (PIX-145)	20	-	-	-	77	62	85	79	64	79
Ferric sulphate (Ferrix-3)	20	65	68	82	-	-	-	-	-	-

Figura 101: Tabla de remociones de distintos contaminantes usando sólo coagulantes en diferentes efluentes API (Nacheva, 2011)

Coagulant	Optimal doses, mg/L	Flocculant	Optimal doses, mg/L	Removal efficiencies, %								
				R1-Effluent Second Stage Separator			R2-Effluent API-D1			R2-Effluent API-D2		
				O&G	COD	TSS	O&G	COD	TSS	O&G	COD	TSS
SAS	45	ECOFL OC	0.4	96	93	87	-	-	-	-	-	-
PAX-260XLS	40	C-1288	0.6	95	91	88	-	-	-	-	-	-
PAX-260XLS	31	C-1392	0.3	-	-	-	96	94	85	93	92	84
SAS	35	C-1288	0.3	-	-	-	95	90	83	94	89	83
PIX-111	11	C-1288	1.0	-	-	-	93	95	81	93	93	83
PIX-145	14	C-498	1.1	-	-	-	96	95	90	94	93	88

Table 5. Removals of O&G, COD and TSS obtained using coagulants and flocculants in the different API effluents (the doses are expressed in mg/L of chemical product)

Figura 102: Tabla de remociones de distintos contaminantes usando coagulantes y floculantes en diferentes efluentes API (Nacheva, 2011)

Agua residual	k	Y	k_d	a
Urbana	0.017-0.03	0.73	0.075	0.52
Refinería	0.074	0.49-0.62	0.10-0.16	0.40-0.77
Químicas y petroquímicas	0.0029-0.018	0.31-0.72	0.05-0.17	0.31-0.76
Cervecería	—	0.56	0.10	0.48
Farmacéuticas	0.018	0.72-0.77	—	0.46
Pastas Kraft y blanqueado	—	0.5	0.08	0.65-0.8

^a Adaptados de la ref. [2].
^b Unidades: k , $d^{-1} \times l/mg$; Y , kg MLVSS/ kg DBO₅ consumida; k_d , d^{-1} ; a , kg O₂/ kg DBO₅ consumida.

Figura 103: Parámetros biocinéticos típicos de distintas aguas residuales (Ramalho, NE)



Figura 104: Altura sobre el nivel del mar de la ubicación del proyecto
 (Fuente: <https://es-ar.topographic-map.com/maps/3do1/Buenos-Aires/>)

DIÁMETROS NORMALIZADOS (NOMINAL E INTERIOR) PARA TUBERÍAS DE PVC				
DN (mm)	DI (mm)			
	4 atm	6 atm	10 atm	16 atm
16	-	-	-	13,6
20	-	17,5	-	17
25	22,6	22,6	22	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36	34
50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8
90	86,4	84,6	81,4	76,6
110	105,6	103,6	99,4	93,6
125	120	117,6	113	106,4
140	134,4	131,8	126,6	119,2
160	153,6	150,6	144,6	136,2
180	172,8	169,4	162,8	153,2
200	192	188,2	180,8	170,4
225	216	211,8	203,4	191,4
250	240,2	235,4	226,2	213
280	269	263,6	253,2	238,4
315	302,6	296,6	285	268,2
355	341	334,2	321,2	302,4
400	384,2	376,6	361,8	340,6
450	432,4	423,8	407	383,2
500	480,4	470,8	452,2	425,8

Figura 105: Diámetros normalizados para tuberías de PVC (Fuente: <https://www.desatrancosdnp.com/blog/medidas-y-diametros-de-tubos-de-pvc/>)

Model	Max Flow	Max Pressure	Stroke SPM	Work Voltage	Interface Size	Weight
MW-05-10	5 L/hr	10 Bar	56	AC380V/50Hz N=25W	6/8/10mm Hose or DN15 PVC Pipe	4.2Kg
MW-06-10	6 L/hr	10 Bar	56			
MW-15-10	15 L/hr	10 Bar	92			
MW-24-10	24 L/hr	10 Bar	108			
MW-30-10	30 L/hr	10 Bar	135	AC380V/50Hz N=40W	6/8/10mm Hose or DN15 PVC Pipe	4.2Kg
MW-40-05	40 L/hr	5 Bar	180			
MW-50-05	50 L/hr	5 Bar	180			
MW-60-05	60 L/hr	5 Bar	180			
ML-40-10	40 L/hr	10 Bar	108	AC380V/50Hz N=60W	DN15 PVC Pipe	8.5Kg
ML-60-10	60 L/hr	10 Bar	135			
ML-80-05	80 L/hr	5 Bar	135	AC380V/50Hz N=90W		
ML-100-05	100 L/hr	5 Bar	135			
ML-120-05	120 L/hr	5 Bar	180			
ML-150-05	150 L/hr	5 Bar	180			
ML-180-05	180L/hr	5 Bar	180			

Figura 106: Ficha técnica de la bomba dosificadora de coagulante (Fuente: https://spanish.alibaba.com/product-detail/hephis-5-180lph-10-5bar-dosing-pump-elixir-motor-drive-double-layer-diaphragm-flocculant-alkali-fertilizer-dosing-metering-pump-6214085547-1.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.78bed6318F9hPy&s=p)

model	speed r/min	flow m ³ /h	pressure MPa	Motor power KW	lift m	Inlet diameter mm	Outlet diameter mm	Allowable particle diameter mm
G20-1	960	0.8	0.6	0.75	60	25	25	1.5
G20-2	960	0.8	0.6	1.1	120	25	25	1.5
G25-1	960	2	0.6	1.5	60	32	25	2
G25-2	960	2	1.2	2.2	120	32	25	2
G30-1	960	5	0.6	2.2	60	50	40	2.5
G30-2	960	5	1.2	3.0	120	50	40	2.5
G35-1	960	8	0.6	3.0	60	65	50	3
G35-2	960	8	1.2	4.0	120	65	50	3
G40-1	960	12	0.6	4.0	60	80	65	3.8
G40-2	960	12	1.2	5.5	120	80	65	3.8
G50-1	960	20	0.6	5.5	60	100	80	5
G50-2	960	20	1.2	7.5	120	100	80	5
G60-1	960	30	0.6	11	60	125	100	6
G60-2	960	30	1.2	15	120	125	100	6
G70-1	960	45	0.6	15	60	150	125	8
G70-2	720	45	1.2	18.5	120	150	125	8
G85-1	720	65	0.6	15	60	150	150	10
G105-1	500	100	0.6	22	60	200	200	15
G135-1	400	150	0.6	37	60	250	250	20

Figura 107: Modelos de bombas de lodos de tornillo marca Shandong Zhongrong (Fuente: https://spanish.alibaba.com/product-detail/shandong-zhongrong-fuxing-screw-pump-mortar-slurry-sludge-mortar-pump-1600207222369.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.6789f081Wa5esz&s=p)

Contar	Descripción																																				
2	<p>SE1.80.100.22.A.EX.4.50D.B</p>  <p style="text-align: center;"><small>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</small></p> <p>Código: 96177686</p> <p>Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada específicamente para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar.</p> <p>La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo. El sistema de refrigeración, que no precisa líquido ni mantenimiento, garantiza la posibilidad de usar la bomba en instalaciones sumergidas o secas. El revolucionario impulsor S-tube® cuenta con paso esférico libre para sólidos de hasta 80 mm, y es apto para aguas residuales con un contenido máximo de materia seca del 3 %. Un exclusivo sistema de montaje con acoplamiento de acero inoxidable permite el desmontaje rápido y sencillo de la bomba de la unidad motriz para su inspección y mantenimiento. No se requieren herramientas especiales. La conexión de las tuberías se lleva a cabo por medio de una brida DIN.</p> <p>La bomba cuenta con diseño a prueba de explosión.</p> <p>Paneles control:</p> <table> <tr> <td>Sensor de humedad:</td> <td>con sensores de humedad</td> </tr> <tr> <td>Detector de agua en aceite:</td> <td>con detector de agua en aceite</td> </tr> <tr> <td>Sensor temp.:</td> <td>Y</td> </tr> </table> <p>Líquido:</p> <table> <tr> <td>Rango de temperatura del líquido:</td> <td>0 .. 40 °C</td> </tr> <tr> <td>Densidad:</td> <td>998.2 kg/m³</td> </tr> </table> <p>Técnico:</p> <table> <tr> <td>Caudal real calculado:</td> <td>269.9 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Altura resultante de la bomba:</td> <td>2 m</td> </tr> <tr> <td>Tipo de impulsor:</td> <td>S-TUBE</td> </tr> <tr> <td>Diámetro máximo de las partículas:</td> <td>80 mm</td> </tr> <tr> <td>Cierre primario:</td> <td>SIC/SIC</td> </tr> <tr> <td>Cierre secundario:</td> <td>CARBON/CERAMICS</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia hidráulica máx.:</td> <td>72 %</td> </tr> <tr> <td>Homologaciones en la placa de características:</td> <td>EN12050-1</td> </tr> <tr> <td>Tolerancia de curva:</td> <td>ISO9906:2012 3B2</td> </tr> </table> <p>Materiales:</p> <table> <tr> <td>Carcasa de la bomba:</td> <td>EN 1561 EN-GJL-250</td> </tr> <tr> <td>Impulsor:</td> <td>Fundición</td> </tr> </table> <p>Instalación:</p> <table> <tr> <td>Presión de trabajo máxima:</td> <td>6 bar</td> </tr> <tr> <td>Normativa de brida:</td> <td>DIN</td> </tr> </table>	Sensor de humedad:	con sensores de humedad	Detector de agua en aceite:	con detector de agua en aceite	Sensor temp.:	Y	Rango de temperatura del líquido:	0 .. 40 °C	Densidad:	998.2 kg/m ³	Caudal real calculado:	269.9 m ³ /h	Altura resultante de la bomba:	2 m	Tipo de impulsor:	S-TUBE	Diámetro máximo de las partículas:	80 mm	Cierre primario:	SIC/SIC	Cierre secundario:	CARBON/CERAMICS	Eficiencia hidráulica máx.:	72 %	Homologaciones en la placa de características:	EN12050-1	Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B2	Carcasa de la bomba:	EN 1561 EN-GJL-250	Impulsor:	Fundición	Presión de trabajo máxima:	6 bar	Normativa de brida:	DIN
Sensor de humedad:	con sensores de humedad																																				
Detector de agua en aceite:	con detector de agua en aceite																																				
Sensor temp.:	Y																																				
Rango de temperatura del líquido:	0 .. 40 °C																																				
Densidad:	998.2 kg/m ³																																				
Caudal real calculado:	269.9 m ³ /h																																				
Altura resultante de la bomba:	2 m																																				
Tipo de impulsor:	S-TUBE																																				
Diámetro máximo de las partículas:	80 mm																																				
Cierre primario:	SIC/SIC																																				
Cierre secundario:	CARBON/CERAMICS																																				
Eficiencia hidráulica máx.:	72 %																																				
Homologaciones en la placa de características:	EN12050-1																																				
Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B2																																				
Carcasa de la bomba:	EN 1561 EN-GJL-250																																				
Impulsor:	Fundición																																				
Presión de trabajo máxima:	6 bar																																				
Normativa de brida:	DIN																																				

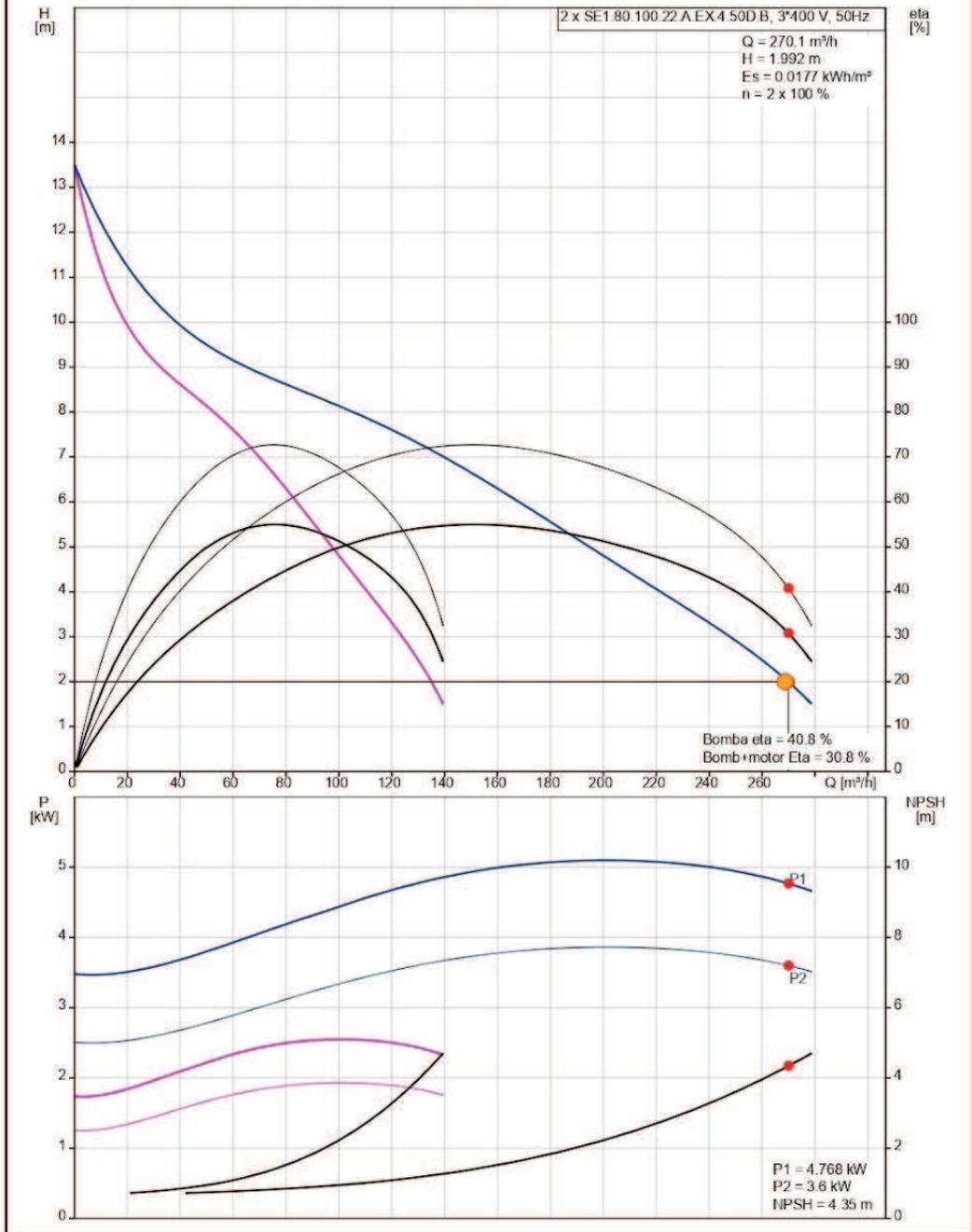


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 30/06/2021

Contar	Descripción
	Salida de bomba: DN 100
	Presión nominal: PN 10
	Profundidad máxima de instalación: 20 m
	Autoacoplamiento: 96090994
	Datos eléctricos:
	Potencia de entrada - P1: 2.9 kW
	Potencia nominal - P2: 2.2 kW
	Frecuencia de red: 50 Hz
	Tensión nominal: 3 x 380-415 V
	Toler. tensión: +6/-10 %
	Arranques máx. por hora: 20
	Intensidad nominal: 6.0-6.0 A
	Intensidad nominal con una carga de 3/4: 4.8 A
	Intensidad nominal con una carga de 1/2: 4.2 A
	RequestedVoltage: 400 V
	RatedCurrentAtThisVoltage: 6 A
	Intensidad de arranque: 32 A
	Intensidad nominal sin carga: 3.6 A
	Cos phi - Factor de potencia: 0.74
	Cos phi - Factor de potencia a carga nula: 0.13
	Cos phi - Factor de potencia a 3/4 de carga: 0.66
	Cos phi - Factor de potencia a 1/2 de carga: 0.53
	Velocidad nominal: 1445 rpm
	Par de rotor enclavado: 32 Nm
	Par máximo de motor: 45 Nm
	Momento de inercia: 0.066 kg m ²
	Eficiencia del motor a carga total: 76.3 %
	Eficiencia del motor a una carga de 3/4: 75.2 %
	Eficiencia del motor a una carga de 1/2: 70.9 %
	Número de polos: 4
	Tipo de arranque: directo
	Grado de protección (IEC 34-5): IP68
	Clase de aislamiento (IEC 85): F
	Resistente a explosiones: Sí
	Protección estándar Ex: Ex db eb h mb IIB T4, T3 Gb
	Longitud de cable: 10 m
	Tipo de cable: LYNIFLEX
	Tipo de clavija de cable: NO PLUG
	Otros:
	Peso neto: 123 kg
	Peso bruto: 135 kg
	País de origen.: HU
	Tarifa personalizada n.º: 84137021

96177686 SE1.80.100.22.A.EX.4.50D.B 50 Hz



Impresión del WinCAPS Grundfos [2021.13.007]

3/3

Figura 108: Ficha técnica de la bomba Grundfos seleccionada para impulsar las conducciones del API al DAF

Contar	Descripción
1	<p>SL.45.100.100.4.52H.S.N.51D.A</p>  <p style="text-align: center;">Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 99769438</p> <p>Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada específicamente para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar.</p> <p>La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo, como parte de instalaciones sumergidas. La bomba incluye un motor Grundfos Blueflux® de alta eficiencia, fabricado con componentes IE3.</p> <p>Paneles control: Sensor de humedad: con sensores de humedad</p> <p>Líquido: Rango de temperatura del líquido: 0 .. 40 °C Densidad: 998.2 kg/m³</p> <p>Técnico: Caudal real calculado: 354.8 m³/h Altura resultante de la bomba: 2.46 m Tipo de impulsor: OPEN S-TUBE Diámetro máximo de las partículas: 45 mm Cierre primario: SIC-SIC Cierre secundario: SIC-CARBON Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B2</p> <p>Materiales: Carcasa de la bomba: Hierro fundido EN 1561 EN-GJL-250 Impulsor: Fundición EN 1561 EN-GJL-250 Motor: Hierro fundido EN 1561 EN-GJL-250</p> <p>Instalación: Maximum ambient temperature: 40 °C Normativa de brida: DIN Entrada de bomba: DN 150 Salida de bomba: DN 100</p>

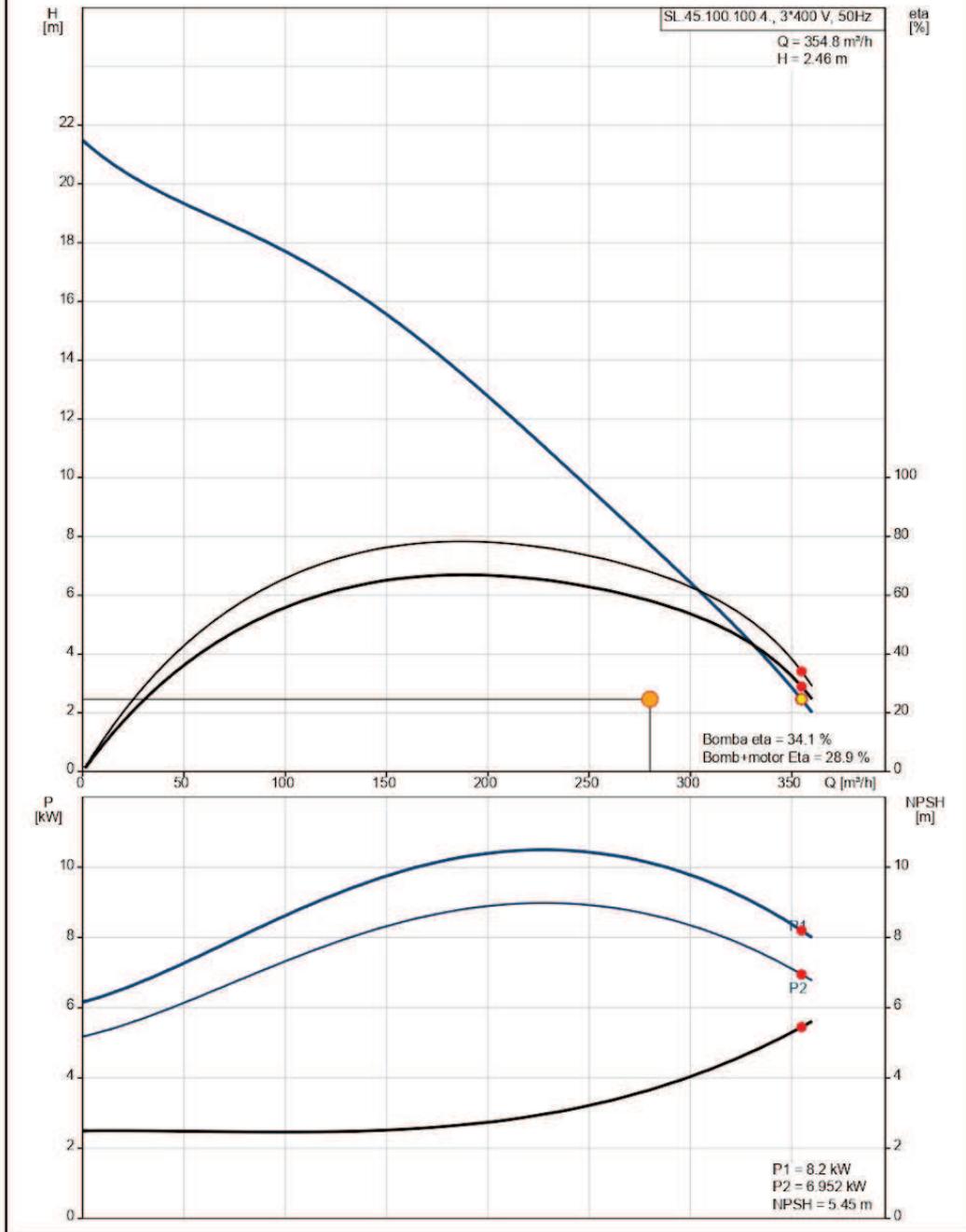


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 30/06/2021

Contar	Descripción
	Presión nominal: PN 10
	Profundidad máxima de instalación: 20 m
	Autoacoplamiento: 96090994
	Pedestal: 96102314
	Alcance de la estructura: 52
	Datos eléctricos:
	Potencia de entrada - P1: 11,6 kW
	Potencia nominal - P2: 10 kW
	Frecuencia de red: 50 Hz
	Tensión nominal: 3 x 380-415/660-690 V
	Toler. tensión: +10/-10 %
	Arranques máx. por hora: 20
	Intensidad nominal: 23-21/13-13 A
	Consumo de intensidad máximo: 21 A
	RequestedVoltage: 400 V
	RatedCurrentAtThisVoltage: 21.9 A
	Intensidad de arranque: 210/116 A
	Intensidad nominal sin carga: 10.4 A
	Velocidad nominal: 1482 rpm
	Eficiencia del motor a carga total: 86 %
	Eficiencia del motor a una carga de 3/4: 85 %
	Eficiencia del motor a una carga de 1/2: 84 %
	Número de polos: 4
	Tipo de arranque: Estrella/triángulo
	Grado de protección (IEC 34-5): IP68
	Clase de aislamiento (IEC 85): H
	Resistente a explosiones: no
	Longitud de cable: 10 m
	Tipo de cable: S1BN8-F
	Winding resistance: 0.690 Ohm
	Cos phi 1/1: 0.80
	Cos phi 1/2: 0.69
	Cos phi 3/4: 0.74
	Otros:
	Peso neto: 305 kg
	País de origen.: HU
	Tarifa personalizada n.º: 84137021

99769438 SL.45.100.100.4.52H.S.N.51D.A 50 Hz



Impresión del WinCAPS Grundfos [2021.13.007]

3/4

Figura 109: Ficha técnica de la bomba Grundfos seleccionada para impulsar por conducciones del sistema DAF al sistema de lodos activos

ZXM8-TPLDD120 Series ZNSHINESOLAR

Znshinesolar 1288 HALF-CELL Bifacial Light-Weight Double Glass Monocrystalline PERC PV Module

580W | 585W | 590W | 595W | 600W | 605W



Excellent cells efficiency

MBB technology decreases the distance between busbar and finger grid line which is benefit to power increase.



Better Weak Illumination Response

More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and early morning.



Anti PID

Ensured PID resistance through the quality control of cell manufacturing process and raw materials.



Adapt To Harsh Outdoor Environment

Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity environment.



TIER 1

Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing.



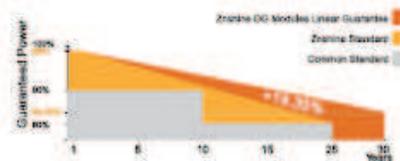
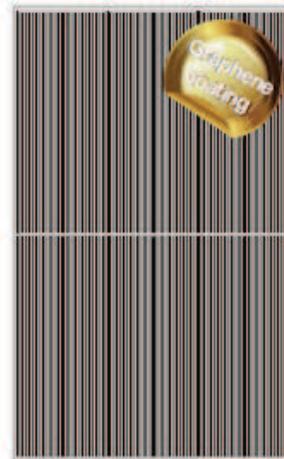
Excellent Quality Management System

Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements.



Bifacial Technology

Up to 25% additional power gain from back side depending on albedo.



12 years product guarantee
30 years output guarantee



0.45% annual degradation
after the first year



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL1730

ISO 9001: Quality Management System

ISO 14001: Environmental Management System

ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

Founded in 1988, Znshinesolar is a world's leading high-tech PV module manufacturer. With the state-of-the-art production lines, the company boasts module capacity of 6GW. Bloomberg has listed Znshinesolar as a global Tier 1 PV module maker. Today Znshinesolar has distributed its sales to more than 60 countries around the globe.

www.znshinesolar.com

ELECTRICAL CHARACTERISTICS | STC*

Nominal Power Watt Pmax(W) [†]	580	585	590	595	600	605
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	33.70	33.90	34.10	34.30	34.50	34.70
Maximum Power Current Imp(A)	17.22	17.26	17.31	17.35	17.40	17.44
Open Circuit Voltage Voc(V)	40.70	40.90	41.10	41.30	41.50	41.70
Short Circuit Current Isc(A)	18.17	18.21	18.25	18.29	18.33	18.37
Module Efficiency (%)	20.49	20.67	20.85	21.02	21.20	21.38

*STC (Standard Test Condition): Irradiance: 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
[†]Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS | NMOT[‡]

Maximum Power Pmax(Wp)	436.10	439.70	443.60	447.20	451.10	454.80
Maximum Power Voltage Vmp(V)	31.60	31.80	32.00	32.20	32.40	32.50
Maximum Power Current Imp(A)	13.80	13.83	13.87	13.90	13.94	13.98
Open Circuit Voltage Voc(V)	38.20	38.40	38.60	38.80	39.00	39.20
Short Circuit Current Isc(A)	14.67	14.70	14.73	14.76	14.80	14.83

[‡]NMOT (Nominal module operating temperature): Irradiance: 1000W/m², Ambient temperature 20°C, AM 1.5, Wind speed 1m/s

ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 25% REAR SIDE POWER GAIN

Front power Pmax/W	580	585	590	595	600	605
Total power Pmax/W	725	731	738	744	750	756
Vmp/(Total)	33.80	34.00	34.20	34.40	34.60	34.80
Imp/(Total)	21.45	21.51	21.56	21.62	21.68	21.73
Voc/(Total)	40.80	41.00	41.20	41.40	41.60	40.80
Isc/(Total)	22.63	22.69	22.74	22.79	22.83	22.89

MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono PERC
Cells orientation	120 (6x20)
Module dimension	2172x1303x35 mm (With Frame)
Weight	35 kg
Glass	2.0 mm+2.0mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² , 350 mm
Connectors	MC4-compatible

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	43°C±2°C	Maximum system voltage	1500 V DC
Temperature coefficient of Pmax	-0.34%/°C	Operating temperature	-40°C~+85°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C	Maximum series fuse	35 A
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C	Maximum load (snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

Refer. Bifacial Factor 70±5%

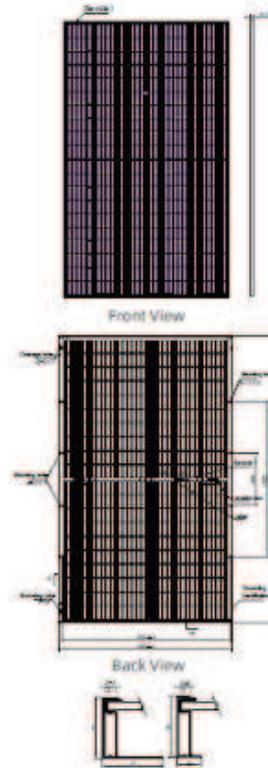
[†]Do not connect Plus to Connector box with two or more strings in parallel connection
[‡]Mounting hardware also in this catalog do not offer for a single module and they are not part of the offer. They only used for comparison among different module types.

PACKAGING CONFIGURATION

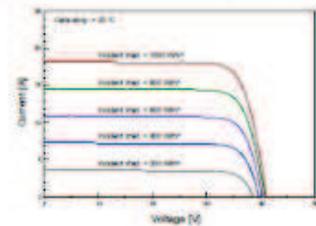
Piece/Box	31
Piece/Container (20' High Cube)	558
Piece/Container (20' High Cube) with extra packaging	7

[†]Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

DIMENSIONS(MM)



I-V CURVES OF PV MODULE(590W)



P-V CURVES OF PV MODULE(590W)

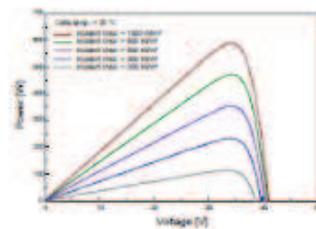


Figura 110: Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos seleccionados (Fuente:

www.znshinesolar.com/modules)

Conext™ CL-60 String Inverter

solar.schneider-electric.com | 3

High efficiency to maximize your ROI

Technical Specifications

Device short name	CL-60 E (IEC)	CL-60 A (UL)
DC Side		
DC max. input voltage	1000V	1000V
DC full power MPPT voltage range (PF=1)	570 - 850 V	550 - 850 V
DC operating voltage range at nominal AC voltage	570 - 950 V	550 - 950 V
DC start voltage at nominal AC voltage	620 V	620 V
DC max. array short circuit current	160 A	200 A
DC max. PV operating current	120 A	120 A
Number of MPPT / max. number of inputs per MPPT	1 / 14	1 / 8 (Y connector recommended for up to 16 strings)
DC connectors / DC max. current per input	MCA / 12 A (mating part included)	Amphenol H4 /25 A (mating part included)
DC fuses (included)	14 pairs (+), string monitoring included	8 pairs (+/-), string monitoring included
DC switch / DC SPD / AFD	Yes / Type II surge arrester / Null	Yes / Type II surge arrester / Yes
AC Side		
AC nominal output power	60 kW	60 kW
AC max. continuous apparent power (1 PU)	66 kVA	63.4 kVA
AC nominal output voltage / AC operating voltage range	400 V / 310 - 480 V	380 V / 295 - 450V
AC nominal frequency / Frequency range	50 Hz and 60 Hz / 45-55 Hz and 55-65 Hz	60 Hz / 55-65 Hz
AC nominal output current	87A	91A
AC max. continuous output current	96 A	96 A
Power factor range	0.8 lead to 0.8 lag adjustable	0.8 lead to 0.8 lag adjustable
THD at nominal power	< 3%	<3%
AC terminal	Screw clamp terminal, AL - CU type cable compatible	Screw clamp terminal, AL - CU type cable compatible
AC disconnect	Not applicable	100 A AC switch
AC connection	4 wire grounded WYE and ungrounded DELTA	4 wire grounded WYE and ungrounded DELTA
General Specifications		
Peak efficiency / Euro or DECC efficiency	98.9% / 98.7%	98.8% / 98.5%
Power consumption at night time	< 1 W	< 1 W
Enclosure type protection class	IP 65	NEMA 4X
Weight	58 kg	128 lb
Inverter dimensions (H x W x D)	95.8 x 65.2 x 25.0 cm	38.9 x 25.7 x 9.8 in
Ambient air temperature for operation	-25 to 60°C, derating > 50°C ¹	-13°F to 140°F, derating > 122°F ¹
Max. operating altitude	4000 m, derating > 3000 m	13123 ft, derating > 9842 ft
Relative humidity %	0 - 100% condensing	0 - 100% condensing
Audible noise	55 dBA +/- 3 dBA	55 dBA +/- 3 dBA
Inverter mounting	Vertical wall to 0° flat mounting	Vertical wall to 0° flat mounting
User interface and communications		
User interface	LCD display	LCD display
Communication interface	RS485-Modbus, Modbus-TCP (optional, Daisy chain over RS485 as well as TCP), SunSpec profile compliant	
Regulatory approval		
Certifications (pending)	VDE0126-1-1, EN62109-1, EN62109-2, G59/3, BOEW	UL 1741, IEEE 1547, CSA C22.2#107.1, FCC Part 15 Sub-part B, Class B Limits, Rule 21
Environmental	RoHS, REACH and 4K9H	RoHS

¹ Refer to Owner's Guide for more details

© 2017 Schneider Electric. All rights reserved. All trademarks are owned by Schneider Electric Industries SAS or its affiliated companies. All information is preliminary and will need to be confirmed at the time of order. BR20170406_Conext-CL-60

Life is On | Schneider Electric

Figura 111: Ficha técnica inversor CL60E (Fuente:

<https://solar.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2016/08/BR20170406-Conext-CL-60-String-Inverter.pdf>)

InsightHome and InsightFacility

	InsightHome	InsightFacility
 		
Supervisión y control		
Supervisión a través de la red local	●	●
Supervisión desde cualquier lugar con las aplicaciones InsightCloud o InsightMobile	●	●
Puesta en marcha o arranque del sistema a nivel local y en remoto	●	●
Acceso a datos en vivo y a su historial	●	●
Firmware		
Actualización remota del firmware	●	●
Network		
LAN inalámbrica	Alcance intermedio	Alcance largo
Xanbus y Modbus		
Número de puertos Xanbus	1	2
Número de puertos Modbus	1	2
Alimentación por la red Xanbus	●	●
Modbus 485	●	●
Especificaciones físicas		
Método de montaje	Montaje en pared	Rail DIN
Tamaño del sistema		
Tamaño de instalación	Almacenamiento de hasta 25,5 kW	Hasta 3 MW de energía solar o 50 kW de almacenamiento

Figura 112: Ficha técnica Insight Facility de Schneider Electric Solar (Fuente: <https://solar.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2020/10/Insight-Energy-Management-Hoja-de-datos.pdf>)

ORIGEN DEL AREA	UNIDAD	FORMA	LOCALIZACIÓN TOPOGRAFICA	MATERIAL	PROCESOS DE FORMACION	EROSIÓN ACTUAL		HIDROLOGIA		RIESGO DE INUNDACIÓN
						EÓLICA	HIDRICA	SUPERFICIAL	SUBTERRANEA	
ESTUARICO-MARINO	Cordón Conchil	leve elevación en el paisaje	aprox. cota 5 m	valvas marinas	acumulación marina	nula	minima	control del escurrimiento	sin incidencia	minimo
	Llanura de fango	plana	baja	arcilla/limo/arena fina	aluvional estuárico	nula	moderada y con mínima infiltración	anegamiento semipermanente	freática salinizada cercana a la superficie	máximo
	Bañado	irregular poco profunda	baja	arcilla	estuárico	nula	elevada	anegamiento permanente	freática salinizada cercana a la superficie	máximo
	Llanura de Marea Interior	plana	baja	arcilla	estuárico	nula	elevada y con mínima infiltración	anegamiento semipermanente	freática salinizada cercana a la superficie	máximo
	Antiguos Canales de Marea	meandrosa	baja	arcilla/limo/arena fina	aluvional estuárico	nula	máxima	drenaje semipermanente	freática salinizada cercana a la superficie	máximo
MIXTO	Antiguo Estuario Interior	quiebre de pendiente	entre cotas de 3 y 5 m	arcilla/limo	fluvial estuárico marino	nula	máxima	area desagué de arroyos	zona de descarga	máximo
	Antigua Franja Costera	desnivel suavizado	entre cotas de 3 y 5 m	loess	erosión marina	nula	moderada	drenaje en manto	freática salinizada cercana a la superficie	medio
	Interfluvio de Origen Mixto	plana	media	arcilla/limo/loess	fluvial estuarica	nula	moderada	anegamiento esporádico	freática salinizada cercana a la superficie	medio
CONTINENTAL	Interfluvio Convexo	convexa	alta	loess	erosión hidrica	nula	minima	nacimiento de afluentes	zona de recarga	nulo
	Interfluvio Plano	plana	alta	loess/arena fina	erosión hidrica y eolica	moderada	minima	cabecera de los arroyos	zona de recarga	minimo
	Area con Pendiente	plano inclinado	media	loess	erosión hidrica	nula	elevada	drenaje en manto	zona de recarga	medio
	Planicie de Inundación	elongada plana	área baja	arcilla/limo	acumulación fluvial	nula	elevada	áreas de desbordes periódicos	esporádicamente mantiene caudal de base	máximo
	Cañadas	elongada plano-cóncava	área levemente deprimida	loess/limo/arcilla	erosión fluvial incipiente	nula	moderada	drenaje incipiente	zona de recarga	medio
	Cauce de Arroyos	lineal cóncava	área deprimida	arcilla/limo	erosión fluvial	nula	máxima	cursos permanentes y transitorios	cursos alternativamente influyentes o efuentes	máximo
	Cubetas de deflación	circular cóncava	media-alta	limo/arcilla	erosión eólica e hidrica	minima	elevada	drenaje centripeto esporádico	cuerpos alternativamente influyentes o efuentes	medio
	Lagunas	cóncava	variable	limo/arcilla	erosión eólica e hidrica	nula	máxima	agua permanente	cuerpos alternativamente influyentes o efuentes	máximo

Figura 113: Cuadro descriptivo de las distintas unidades geomorfológicas del municipio de Berisso, Ensenada y La Plata (Fuente: Cabral et. al., 2016)

Listado de hospitales y clínicas en Berisso (Fuente: Municipalidad de Berisso: <http://www.berisso.gov.ar/hospitales-y-clinicas.php>)

- Hospital Zonal Gral. de Agudos 'Mario Larrain'
5 N° 4453 entre 166 y Av. Montevideo
Teléfonos: 461-1101 / 464-5164
- Cooperativa Clínica Mosconi
8 entre 157 y 158
Teléfonos: 464-5881
- Instituto Médico Argentino
12 N° 4299 entre 164 y 165
Teléfonos: 464-3113 / 5445
- Centro de Rehabilitación Berisso (CriBe)
164 y 15
Teléfono: 464-4338
- Centro Internacional de Rehabilitación
9 N° 3747 entre 160 y 161
Teléfono: 530-1949

- ERGO Salud Rehabilitación Cardiovascular
2 entre Montevideo y 168 (Hogar Social)
Teléfono: 464-3085

Análisis de riesgo EIA:

Tabla 36: Puntaje grado de certidumbre - análisis de riesgo

Grado de certidumbre	Puntaje
Improbable	0,2
Ocasional	0,5
Frecuente	1

Tabla 37: Puntaje magnitud - análisis de riesgo

Magnitud	Puntaje
Leve	1
Media	2
Alta	4

14.1. Anexo de Cálculos

14.1.1. Laguna aireada mecánicamente

Para dimensionar la laguna aireada mecánicamente es fundamental conocer la temperatura ambiente del lugar del proyecto ya que la misma afecta a la eficiencia de este tratamiento.

En La Plata, el régimen térmico corresponde a beso termal, con una temperatura media anual de 17 °C, presentando una media de 10,5 °C en invierno, y 22 °C en verano.

Los datos utilizados para el dimensionamiento fueron los siguientes:

Tabla 38: datos dimensionamiento laguna aireada

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	m ³ /dia	6720
temperatura media verano	°C	22
temperatura media invierno	°C	10,5
temperatura del líquido	°C	37
So	ppm	495
Ss	ppm	40
Ks	ppm	35

Kd	/dia	0,13
K	/dia	14
tiempo de retención celular	dia	4
Y		0,55
coeficiente de temperatura		1,06
f		0,65

A partir de los datos de la tabla 38, se calculó el volumen de la laguna gracias al caudal y al tiempo de retención hidráulico (igual al tiempo de retención celular en este caso, adoptado de 4 días).

La profundidad de la napa freática oscila entre 1 y 3 metros debido a las precipitaciones y el nivel del Río de La Plata. Se adoptó entonces una profundidad de 2,7 m, la laguna sería semienterrada 2 metros y se adoptó un terraplén con un ángulo de 42° que según el tipo de suelo no generaría problemas de estabilidad. Los valores obtenidos de volumen y de área se observan en la tabla 39.

También se calcularon las temperaturas críticas de invierno y verano donde se estima la temperatura media en la cual se encontrará el volumen líquido influenciado por las variables ambientales gracias a la siguiente fórmula.

$$T_e = \frac{A \cdot f \cdot T_a + Q \cdot T_i}{A \cdot f + Q} \quad (Ec. 72)$$

Donde:

- T_e es la temperatura estacional del volumen líquido en °C
- T_a es la temperatura ambiente media en verano o invierno dependiendo del caso en °C
- f es un factor adimensional de seguridad
- A es el área de la laguna en m^2

Los valores obtenidos para cada estación se observan en la tabla 39.

Tabla 39: valores de dimensionamiento obtenidos

Parámetro	Unidad	Valor
volumen	m3	26880
profundidad	m3	2,7
área	m2	9956
temperatura crítica verano	°C	29,64
temperatura media invierno	°C	24,00

A partir de estos datos se calcularon las verdaderas dimensiones teniendo en cuenta que la geometría de la laguna es troncopiramidal.

Tabla 40: valores de área y volumen troncopiramidal

Área superficial (m ²)	Área de fondo (m ²)	Ángulo terraplén (°)	Volumen troncopiramidal (m ³)
10600	9330	42	26886

Cabe aclarar que se tuvo en cuenta una revancha de 50 cm al obtener el valor del volumen troncopiramidal y el área.

Luego, se calcularon las constantes cinéticas corregidas por la temperatura del medio líquido según la estación del año. En esta instancia se estiman las constantes cinéticas que determinan la velocidad de reacción de los microorganismos respecto al efluente líquido a depurar.

$$K_e = 2,5 * K_{20}^{T_e - 20} \text{ (Ec. 73)}$$

Donde:

- K_{20} es la constante de depuración a los 20°C, también llamado coeficiente de temperatura

Los valores de las constantes corregidas se observan en la tabla 41.

Para saber con qué concentración de DBO₅ saldrá el efluente, se usa la ecuación 74 aplicando la cinética que define la depuración. En este caso, se asume una cinética de primer orden con Monod con decaimiento. Se debe calcular la concentración de salida del efluente para las peores condiciones ambientales, es decir, para las épocas invernales, donde la cinética se ve fuertemente influenciada por las bajas temperaturas y la velocidad

de depuración baja notablemente por eso se utilizó la temperatura de 24 °C.

$$S = \frac{K_s (1 + \theta * K_d)}{\theta * (Y * K - K_d) - 1} \quad (Ec. 74)$$

Donde:

- S es la concentración de salida de DBO₅ en ppm
- K_s es la constante de velocidad media o coeficiente de saturación media
- Y es el coeficiente de producción máxima medido durante un período finito de la fase de crecimiento exponencial, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, masa/masa
- θ es el tiempo de retención hidráulico o celular ya que el valor es el mismo en este caso
- K_d es el coeficiente de descomposición endógena, tiempo⁻¹

Para calcular la biomasa en el sistema de laguna aireada, manteniendo la misma cinética de reacción, también se determinó la concentración de microorganismos para las peores condiciones ambientales (en invierno) gracias a la siguiente fórmula.

$$x = \frac{Y * (s - s_o)}{1 + k_d * \theta} \quad (Ec. 75)$$

Donde:

- x es la biomasa en la laguna en ppm
- S_o es la concentración de entrada de DBO₅ (495 ppm)

Los valores de DBO₅ de salida, de biomasa en la laguna y las constantes de reacción se observan en la tabla 41. También se calculó la eficiencia de remoción.

Tabla 41: valores de sustrato y biomasa

Parámetro	Unidad	Valor
K _{inv}	/dia	1,44
K _{ver}	/dia	2,81
s	ppm	32,40
x	ppm	167,39
Eficiencia de remoción	%	93

Se observa que se alcanza el valor de la normativa y con un buen margen de seguridad.

El cálculo del requerimiento de oxígeno (RO) y el requerimiento estándar (SOR) se realizaron a partir de las ecuaciones presentadas en el presente trabajo, en la sección de memoria de cálculo de reactor biológico 7.4.1 (específicamente 7.4.1.6).

Los datos ingresados para calcular el RO (distintos a los de la sección de lodos activos) fueron los siguientes:

- $Q = 6720 \text{ m}^3/\text{día}$
- $S_o = 495 \text{ ppm}$
- $s = 32,4 \text{ ppm}$
- $P_x = 0,36$

El valor de **RO** obtenido fue de **2.739 kgO₂/día= 114,1 kgO₂/hora**.

Para calcular el SOR se recalculó el C_{wat} ya que la temperatura del líquido (se eligió la del verano al ser la estación desfavorable en cuanto a transferencia de oxígeno) era de 29,64 °C por lo que la solubilidad del O₂ es de 7,56 ppm y como el valor calibrado sigue siendo de 1 el C_{wat} es 7,56 ppm. También se colocó un valor de C_i de 3,5 ppm en vez de 2 ya que es distinto para lagunas aireadas que para lodos activos por el OD que se necesita en cada una. El valor de **SOR** obtenido fue de **213,67 kg O₂/h**.

Para airear esta laguna se seleccionó un equipo de aireación superficial INDUCTAIRE de la marca TYBSA modelo APV-03 ya que cumplía con la profundidad adoptada, el SOR necesario y los radios de influencia.

Su ficha técnica se observa en la figura a continuación:

PROFUNDIDADES TÍPICAS DE OPERACION

Modelo	Potencia HP	HL mín (a) m.	HL mín (b) m.	HL máx (c) m.	HL máx (d) m.
APV-03	3	0,70	1,40	2,40	2,70
APV-05	5,5	0,70	1,50	2,60	2,90
APV-07	7,5	1,00	1,60	2,80	3,30
APV-10	10	1,20	1,70	3,10	3,50
APV-15	15	1,20	2,00	3,30	3,80
APV-20	20	1,50	2,30	3,40	4,20
APV-25	25	1,50	2,50	3,50	4,30
APV-30	30	1,50	2,50	3,50	4,50

- (a) Equipo provisto con placa anti-erosión
- (b) Equipo provisto sin placa anti-erosión
- (c) Para reactores de lodo activado (2500 a 5000 mg/l S.S.)
- (d) Para lagunas aireadas

Modelo	Potencia HP	Eficiencia kg.O ₂ /KWh	HL media m.	Diam. MC m.	Diam. O ₂ m.
APV-03	3	1,0 - 1,3	1,80	10,50	40,00
APV-05	5,5	1,0 - 1,3	1,80	13,50	45,00
APV-07	7,5	1,0 - 1,3	2,40	14,00	48,00
APV-10	10	1,0 - 1,3	3,00	15,50	50,00
APV-15	15	1,0 - 1,3	3,00	18,00	60,00
APV-20	20	1,0 - 1,3	3,30	20,00	65,00
APV-25	25	1,0 - 1,3	3,30	21,50	70,00
APV-30	30	1,0 - 1,3	3,30	23,00	75,00

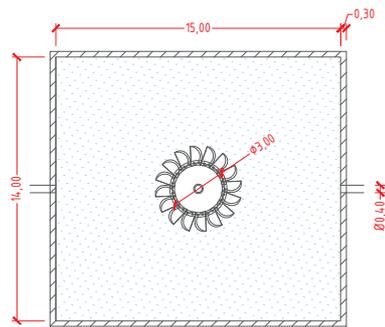
- HL media** Profundidad de líquido de operación medio.
- Diam. MC** Diámetro teórico de la zona de mezcla completa para HL media
- Diam. O₂** Diámetro teórico de la zona de dispersión de oxígeno
- Eficiencia** En condiciones estándar.

Figura 114: Ficha técnica aireadores superficiales seleccionados (Fuente: <https://tybsa.com/wp-content/uploads/2013/12/Folleto-APV.pdf>)

Se tuvo en cuenta que este modelo entrega la cantidad de kgO₂/h necesaria a partir del SOR obtenido con **96 aireadores superficiales** teniendo en cuenta el peor caso de eficiencia en la transferencia de oxígeno. Como este aireador de potencia 2,24 kW genera una transferencia de oxígeno de 2,24 kg/hora, se necesitan 96 aireadores. Se verificó también que con este número de aireadores, los radios de influencia de los mismos se solapan cubriendo toda el área de la laguna y también los radios de mezcla completa.

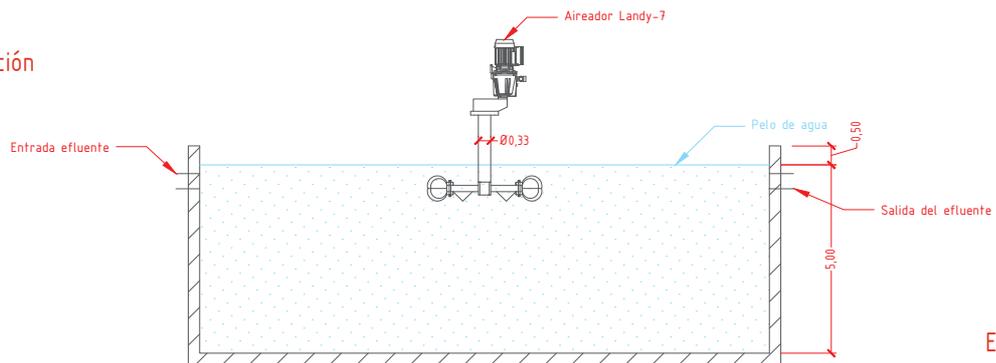
14.2. Planos del proyecto

Vista en Planta



Escala 5:1

Vista de sección

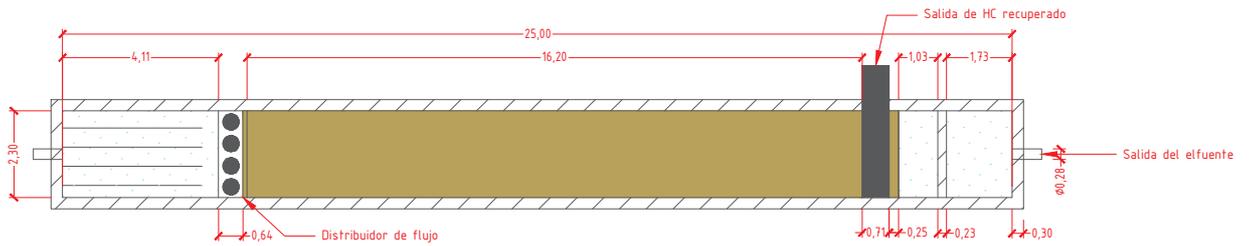


Escala 10:1

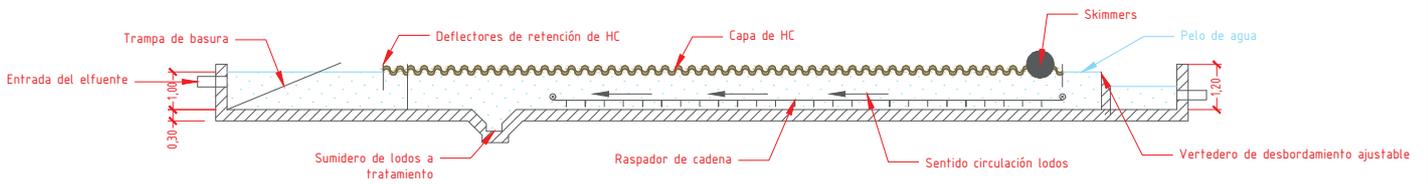
Aclaraciones: A este unidad también se la recomienda cubrir para evitar la liberación de gases tóxicos a la atmósfera.

Tolerancias generales	Proyectó	Lago Eugenia	Cliente UNSAM	PFI	
	Dibujó	Lago Eugenia			
	Revisó				
	Aprobó				
	Escala	Denominación			
		Ecualizador		N° plano cliente	
				N° plano		Pág.
	Formato				
	A3				

Vista en Planta



Vista de sección

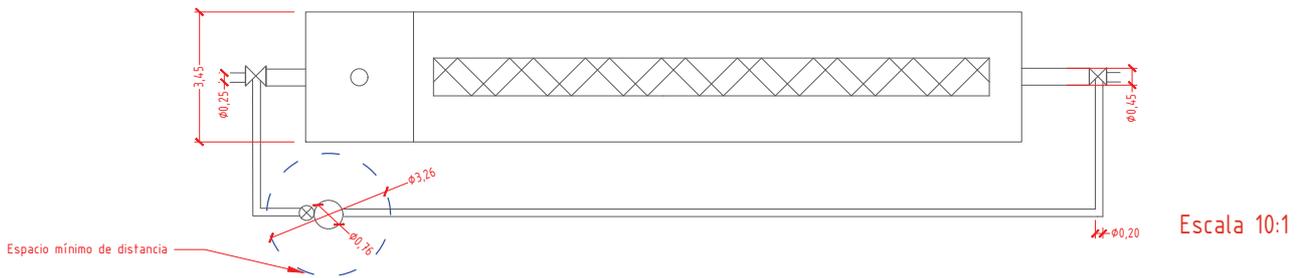


Aclaraciones:

- Ambos separadores API son idénticos por lo que poseen las mismas dimensiones.
- HC: Hidrocarburos
- Estas unidades van cubiertas para evitar liberación de COVs. Los mismos se recolectan en el cabezal y se tratan. A los efectos de la claridad del plano no se observa la cubierta.
- Las unidades no están apoyadas en el suelo por lo que poseen pilares de hormigón.

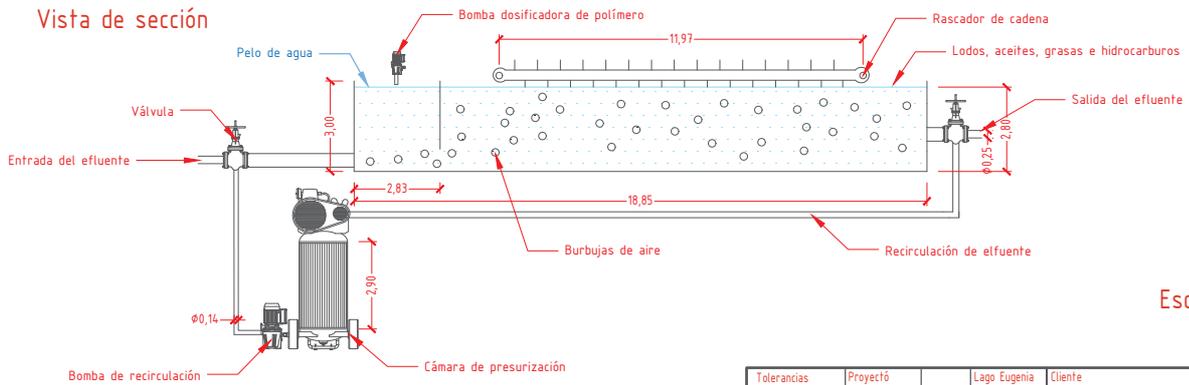
Tolerancias generales	Proyectó	Lago Eugenia	Cliente	UNSAM	PFI	
	Dibujó	Lago Eugenia				
	Revisó					
	Aprobó					
Escala	Denominación					
	10:1	Separadores API			N° plano cliente	
	Formato A3				N° plano	Pág.

Vista en Planta



Escala 10:1

Vista de sección

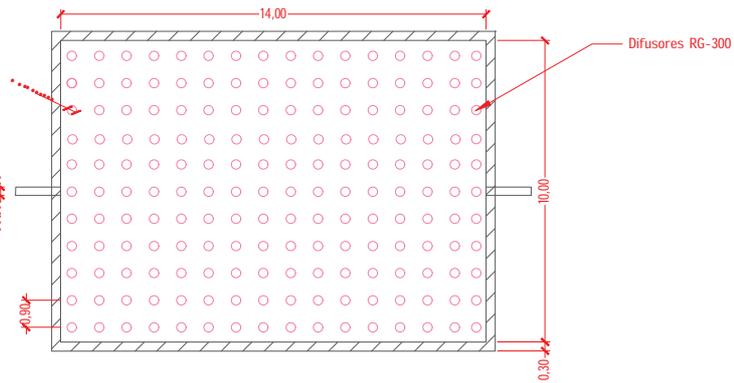


Escala 8:1

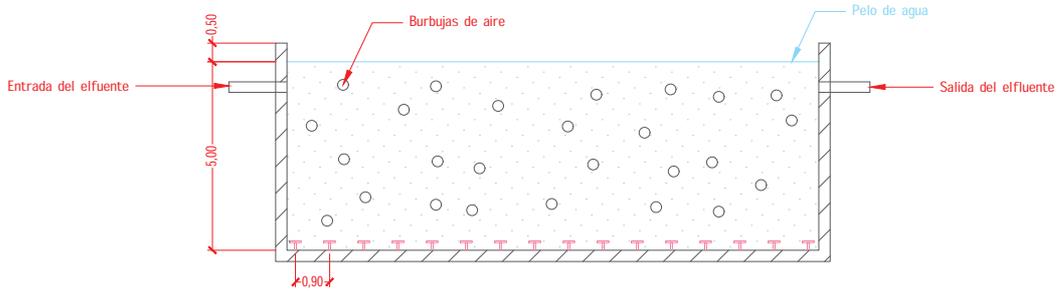
Alarción: Esta unidad se encuentra tapada para evitar liberación de COVs. No se observa en el plano para observar los detalles con mayor claridad.

Tolerancias generales	Proyectó	Lago Eugenia	Cliente UNSAM	PFI
	Dibujó	Lago Eugenia		
	Revisó			
	Aprobó			
	Escala	Denominación		
	Sistema DAF			Nº plano cliente
Formato A3				Nº plano	Pág.

Vista en Planta



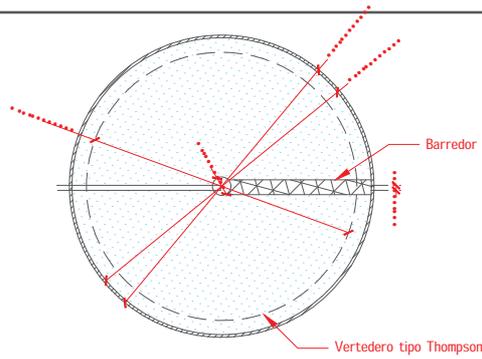
Escala 8:1



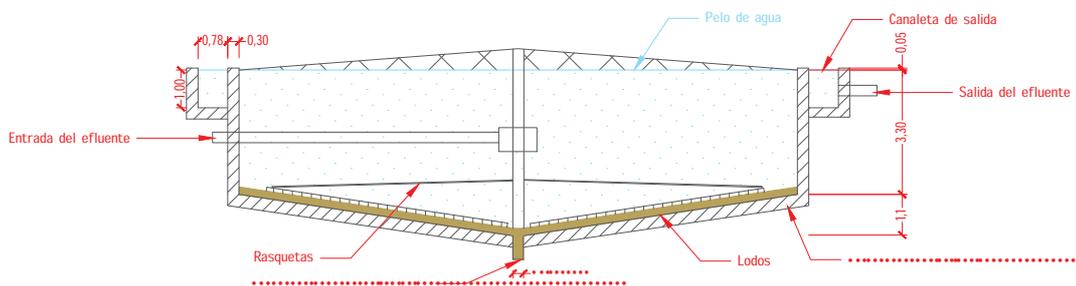
Escala 10:1

Tolerancias generales	.....	Lago Eugenia	Cliente UNSAM	PFI
	.....	Lago Eugenia		
Escala	.....	Reactor .....		..... poseen exactamente las mismas dimensiones.
 Formato A3	.....			.....

Vista en Planta

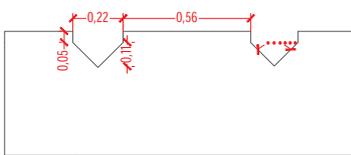


Escala 5:1



Escala 10:1

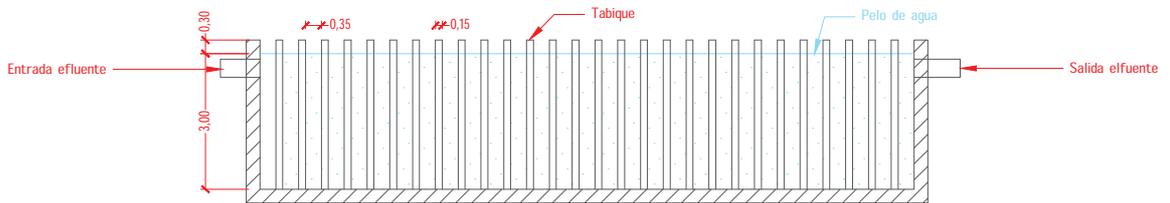
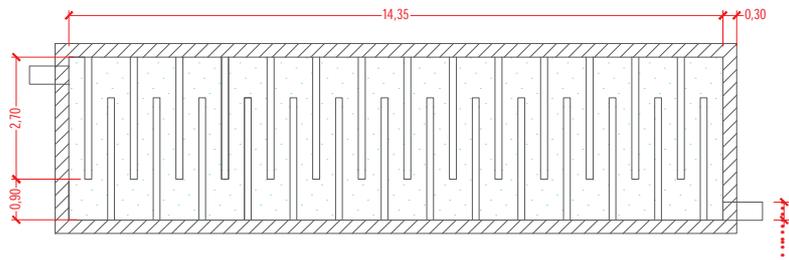
Vertedero Thompson



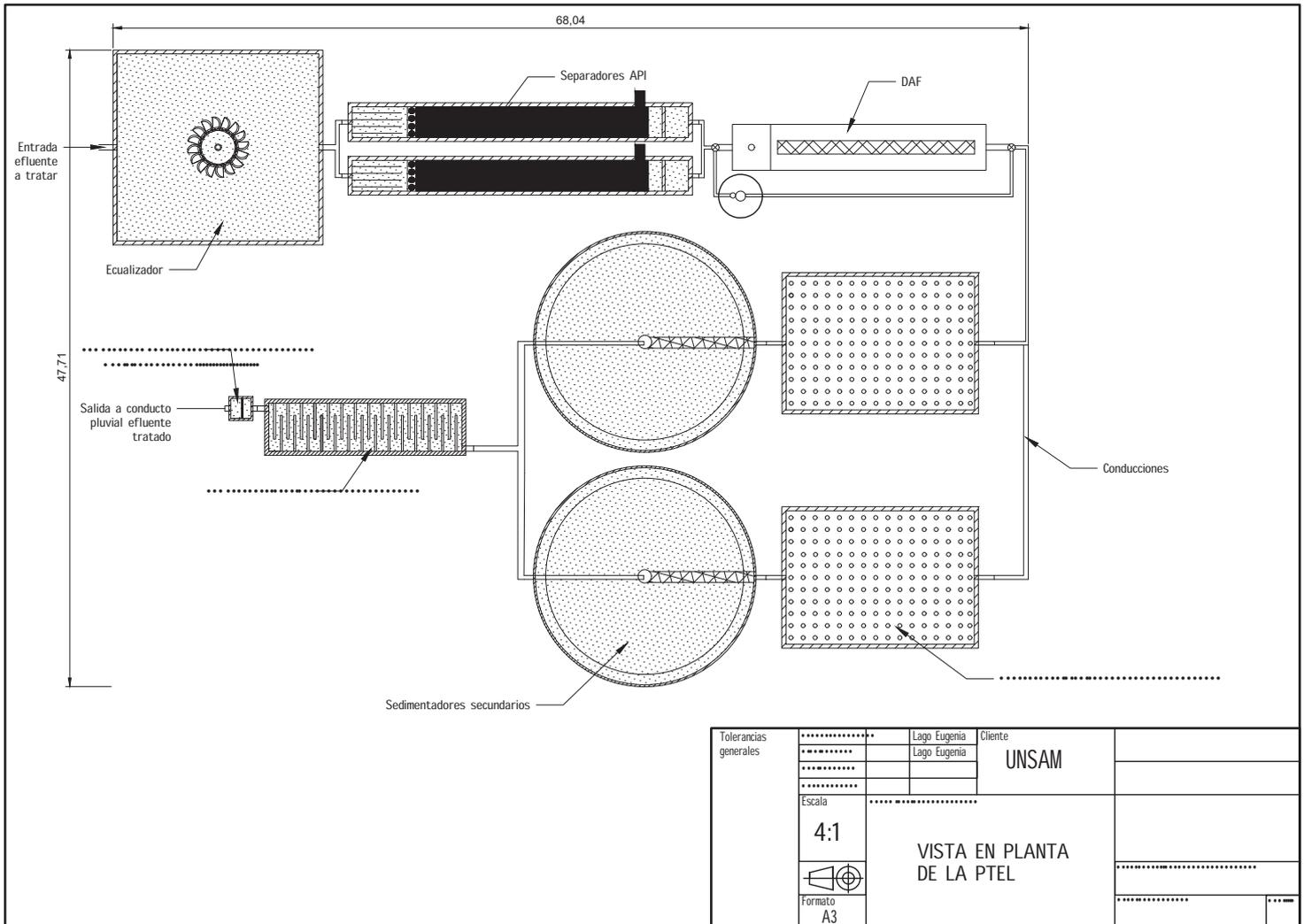
Escala 60:1

Tolerancias generales	.....	Lago Eugenia	Cliente	PFI
	.....	Lago Eugenia	UNSAM	
Escala	.....		
		Sedimentador secundario		Ambos sedimentadores secundarios poseen dimensiones
Formato	A3			

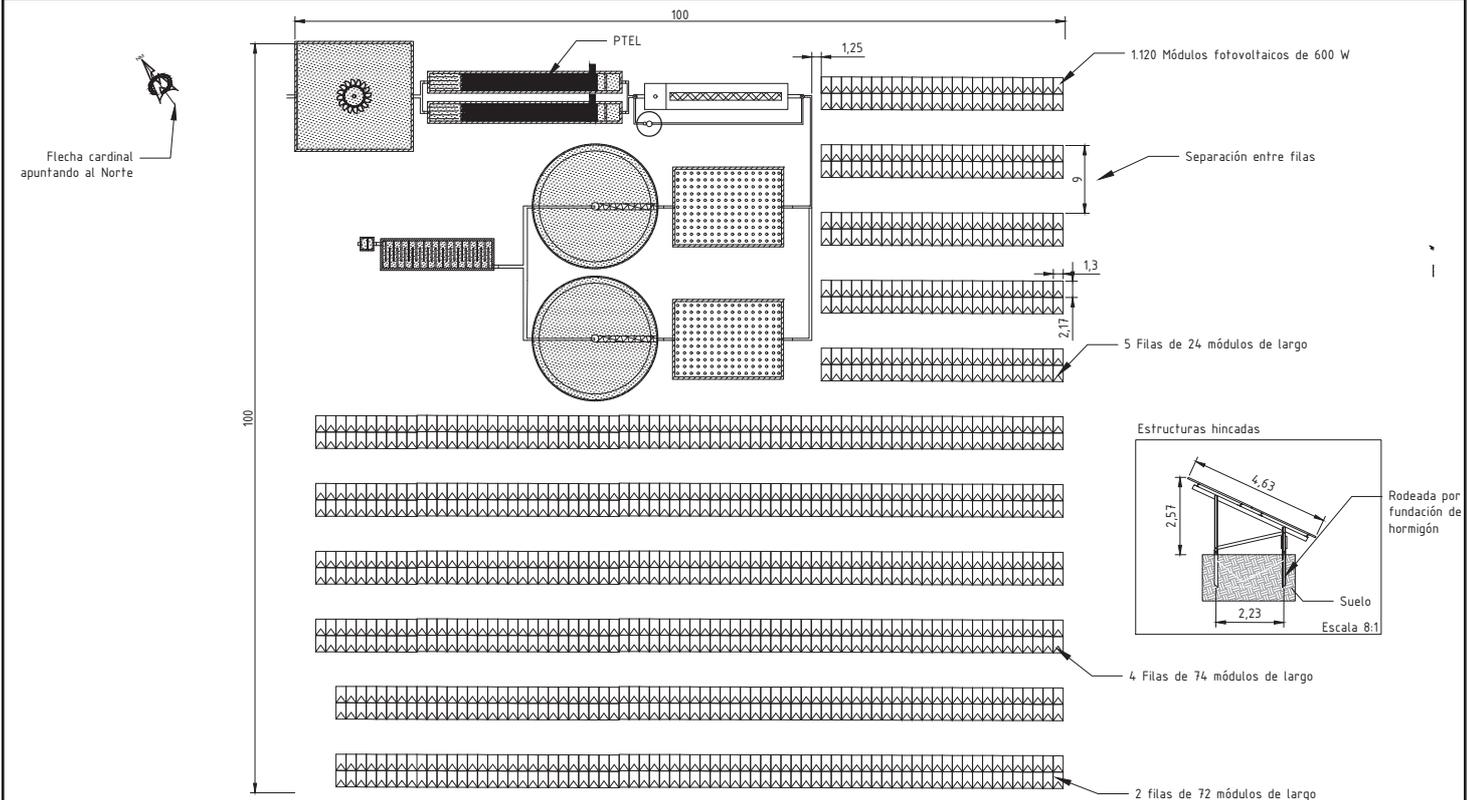
Vista en Planta



Tolerancias generales	.....	Lago Eugenia	Cliente UNSAM	PFI
	.....	Lago Eugenia		
			
Escala	.....		
12:1	.....		
Formato A3				



Tolerancias generales	*****	Lago Eugenia	Cliente UNSAM	
	*****	Lago Eugenia		
Escala	*****	4:1  Formato A3		*****
VISTA EN PLANTA DE LA PTEL				*****



Aclaraciones: Las medidas del módulo fotovoltaico pueden verse en la ficha técnica del mismo adjunta en la PFI. En este caso, se observan las medidas que ocupan desde la perspectiva planta con la inclinación de 30° que difiere levemente de las medidas si estuviese paralelo al piso.

Tolerancias generales	Proyectó	Lago Eugenia	Cliente	UNSAM
	Dibujó	Lago Eugenia		
	Revisó			
	Aprobó			
Escala	Denominación		Nº plano cliente	
	2:1	Vista en Planta PTEL y parque solar ocupando espacio total del proyecto.		
Formato	A3			Nº plano
				Pág.