



Universidad
Nacional
de San Martín

PROYECTO FINAL INTEGRADOR DE ING. AMBIENTAL

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos de un Hospital Interzonal con énfasis en la remoción de contaminantes de preocupación emergente y patógenos; y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.

Altobelli Gonzalez María Eugenia

Legajo: CYT-7115

Agradecimientos

A mi mamá y a mi papá por apoyarme y alentarme siempre en cada cosa que quise hacer, por enseñarme disciplina con el ejemplo y darme la confianza de que soy capaz de lograr todo lo que me proponga.

A mis hermanos por ser incondicionales y porque admiro su inteligencia, creatividad e ingenio y eso me inspira a mejorar. Porque sé que nunca voy a estar sola en el mundo.

A mi abuela porque siempre viste potencial en mí y me enseñaste a resolver problemas de matemática ya de chiquita (se podría decir que gracias a vos elegí ser ingeniera). A mi tío, porque siempre fuiste el primero en resolver mis problemas ya de grande: sos el mejor del mundo.

A mi abuelo, mi tía y mi bisabuela, que están conmigo en todo momento.

A Elias por tu amor tan profundo, puro y genuino, por ser mi mejor amigo y sacar lo mejor de mí. Soy muy afortunada.

A la familia Delsavio por su calidez y generosidad.

A Pepa, Trevor y Bandi, por estar conmigo todas las noches eternas de estudio.

A Denu y Mica, por ser amigas de oro, recordarme siempre que están orgullosas de mí y por darme a Juani.

A mis amigas de teatro por todas las noches de estudio, por incentivarnos mutuamente a lograr cada cosa que nos proponemos, sea llenar una sala o tener un título universitario.

A mis amigas y amigos de la Universidad, son lo más valioso que me llevo. Formamos una familia de corazón, una tribu que se quiere de verdad, que se agranda y traspasa generaciones ¡Sarita, la tía cumplió la promesa!

A Emi y Vale, por abrirme las puertas de su laboratorio y darme la mejor anécdota de primera experiencia laboral (porque no conozco a nadie más que haya criado cucarachas). Y porque mi proyecto no sería el que es sin ustedes: fue en clase de biología que escuché por primera vez hablar de los contaminantes emergentes y me volví una apasionada del tema a lo largo de la carrera.

A Pablo, por ser la primera persona del “mundo real” en confiar en mí y darme una gran oportunidad. A veces solo basta con una sola persona que crea en lo que somos capaces de hacer para que nosotros también podamos creerlo. Eso hace un mentor.

A Juana, por tu generosidad al enseñarme, confiar en mí, motivarme y darme siempre la oportunidad de crecer. Eso hace una líder.

A mis amigas de STEM y de la carrera porque juntas somos mejores.

*A mi amada Universidad Nacional de San Martín **pública, gratuita y de calidad.***

“Principio precautorio: Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente.”

Ley General del Ambiente

INDICE

Resumen	10
Capítulo I – Introducción	12
Objetivo del Proyecto	12
Estado del arte	12
Sobre los efluentes líquidos hospitalarios.....	15
Breve caracterización	17
Sobre los residuos sólidos hospitalarios.....	18
Breve caracterización de los residuos peligrosos.....	19
Aumento en la generación de residuos durante la pandemia del COVID-19.....	20
Capítulo II - Estudios preliminares	21
El hospital	21
Relevamiento del Hospital.....	22
Capacidad	24
Demanda y provisión de agua	25
Disposición de las aguas negras y grises	26
Generación de residuos.....	27
Gestión de los residuos	28
Planta de Tratamiento de los Efluentes Líquidos.....	32
Capítulo III - Caracterización del efluente	33
Parámetros fisicoquímicos convencionales	33
Caracterización microbiológica.....	35
Metales pesados	36
Compuestos farmacéuticos activos	37
Parámetros seleccionados	38
Criterios de concentración en el efluente.....	39
Capítulo IV - Normativa aplicable a los efluentes líquidos	42
Normativa local	42
Normativa Nacional	42
Ley Nacional de Presupuestos Mínimos – Ley General del Ambiente N° 25.675 ..	42
Artículo 41° de la Constitución Nacional.....	42
Artículo 121° de la Constitución Provincial de Buenos Aires	42
Ley Nacional N° 26.221.....	42
Ley N°13.577 - Resolución 79.179/90 y modificatorias.....	45

Normativa Provincial	46
Resolución 389/98 y su modificatoria Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua	46
Normativas y lineamientos internacionales.....	47
Criterio de definición de concentraciones máximas permitidas.....	51
Capítulo V – Memoria descriptiva y alternativas de diseño del tratamiento de efluentes líquidos.....	55
Ejes centrales para el diseño del proceso de tratamiento	55
Eje central a abordar: Remoción de sólidos	56
Pretratamiento	56
Desbaste.....	56
Homogeneización de caudales y mezclado.....	56
Remoción de sólidos medios y finos	57
Eje central a abordar: Remoción de sólidos; Remoción de compuestos recalcitrantes; Remoción de patógenos de relevancia sanitaria	57
Tratamiento primario.....	57
Coagulación-Floculación y Flotación	57
Eje central a abordar: Remoción de Compuestos Recalcitrantes (Fármacos)	58
Tratamientos secundarios.....	58
Lodos activos	59
Bio-reactores de membrana (MBR).....	60
Discusión sobre la implementación de un tratamiento biológico	61
Tratamientos avanzados.....	63
Ozonización	64
Desventajas.....	66
Reacciones Fenton	66
Desventajas.....	67
Discusión	68
Eje central a abordar: Remoción de Compuestos Recalcitrantes (Medios de Contraste para Rayos X)	69
Radiación UV	69
Eje central a abordar: Remoción de Patógenos de relevancia sanitaria	70
Radiación UV	70
Cloración.....	71
Discusión	71

Cámara de toma de muestra y medición de caudal	72
Tren de tratamiento seleccionado	73
Capítulo VI – Memoria de cálculo del sistema de tratamiento de efluentes	77
Estudio de los caudales	77
Hidrograma	79
Proceso de tratamiento	83
Desbaste: Diseño del canasto	83
Ecuación	86
Diseño del tanque ecualizador y pozo de bombeo	86
Ecuación de los caudales	87
Tamizado	91
Residuos/Lodos	93
Coagulación	94
Mezclador estático	96
Dimensionamiento del mezclador estático total	97
Coagulante: Sales de aluminio	98
Floculación	101
Floculador mecánico	101
Flotación	104
Ozonización	111
Unidad de destrucción	115
Catalizador	115
UV	117
Tratamiento de lodos	119
Almacenamiento, acondicionamiento y estabilización	119
Deshidratación	120
Cámara de toma de muestra y medición de caudales	121
Sistema de conducción	122
Flujo por gravedad	124
Flujo a presión	125
Pérdidas de carga	126
Sistema de bombeo	130
Capítulo VII – Cálculos y presupuesto	131
Costos de Inversión	131

Costos de Operación y Mantenimiento.....	135
Consumo energético.....	136
Otros costos de operación y mantenimiento	138
Financiamiento.....	139
Capítulo VIII – Planos del proyecto	140
Capítulo IX – Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)	141
Resumen ejecutivo.....	141
Introducción.....	143
Descripción del proyecto.....	143
Localización.....	143
Área de influencia	143
Memoria técnica.....	145
Etapa constructiva	145
Mano de obra.....	146
Etapa operativa.....	146
Servicios	147
Agua.....	147
Electricidad.....	147
Etapa de cierre	147
Residuos.....	148
Gestión de residuos de la construcción.....	148
Gestión de los residuos asimilables a domiciliarios	148
Gestión de los residuos especiales	148
Gestión de los residuos patogénicos.....	148
Emisiones gaseosas y ruidos.....	149
Control de emisiones gaseosas	149
Control de ruidos.....	149
Línea de Base Ambiental	149
Medio físico	149
Clima.....	149
Aire	151
Suelo.....	153
Topografía.....	153
Agua superficial.....	154

Geología y comportamiento hidrológico	155
Recarga de los acuíferos	157
Extracción de agua en Berazategui	158
Medio biológico.....	159
Flora y fauna	159
Medio socio-económico	160
Identificación y evaluación de los impactos ambientales	162
Factores ambientales.....	162
Descripción del impacto de todas las acciones del proyecto en cada uno de los compartimentos ambientales	162
Impacto en el aire.....	162
Impacto en el agua.....	163
Impactos sobre el suelo	163
Impactos sobre la vegetación.....	163
Impacto sobre la fauna.....	163
Impacto sobre el paisaje	164
Impacto sobre los aspectos económicos	164
Impacto sobre los aspectos sociales	164
Valoración y evaluación de los impactos ambientales	164
Plan de Gestión Ambiental	168
Programa de Medidas de prevención, mitigación, control y compensación de impactos ambientales	168
Programa de Monitoreo ambiental.....	172
Programa de Contingencias Ambientales	173
Responsabilidades del RSH.....	173
Contingencias ambientales identificadas.....	174
Procedimientos de emergencias generales.....	174
Programa de Higiene y Seguridad	175
Programa de Capacitación	175
Normativa vigente	176
Nacional	176
Provincial.....	176
Conclusiones.....	178
Plan de Gestión de Residuos.....	179
Capítulo X – Normativa aplicable a los residuos generados	180

Capítulo XI – Memoria descriptiva del Plan de Gestión de Residuos	182
Responsabilidades	183
Generación	185
Separación en la fuente y almacenamiento primario	185
Recipientes de contención primaria – Especificaciones de diseño.....	186
Recipientes de contención primaria – Cantidad y ubicación	188
Implementación de un Programa de Separación en Origen de los asimilables a domiciliarios	189
Compostaje de la fracción orgánica compostable	193
Recipientes de almacenamiento intermedio.....	194
Transporte interno	195
Recolección	195
Residuos patogénicos tipo A y B	195
Residuos Químicos	195
Transporte	196
Acopio final	197
Sector de acopio final de Residuos patogénicos tipo B.....	197
Sector de acopio final de Residuos Especiales.....	198
Sector de acopio final de Residuos Sólidos Urbanos/Patogénicos tipo A	200
Transporte externo, tratamiento y disposición final.....	200
Residuos patogénicos tipo B	201
Residuos Especiales	202
Residuos Sólidos Urbanos/ Patogénicos tipo A.....	203
Propuesta de alianza estratégica con la Municipalidad para la separación en origen	203
Comunicación interna.....	205
Señalética.....	205
Elementos de Protección Personal y salud del trabajador	211
Vigilancia médica	212
Capacitación	212
Registro.....	213
Plan de contingencias	214
Medidas de emergencia en caso de derrames o contaminación de superficies	214
Derrames de material biológico infeccioso sobre un colchón o en el suelo	214
Procedimiento en caso de derrame de productos químicos	215

Procedimiento ante derrames de mercurio	216
Medidas de emergencia en caso de contaminación de personas	217
Salpicaduras de productos químicos en piel y ojos	217
Procedimiento en caso de ingestión de sustancias químicas	217
Procedimiento en caso de inhalación de gases tóxicos	217
Teléfonos útiles.....	217
Capítulo XII– Conclusiones	218
Referencias	219
Anexos.....	224
Anexo Capítulo VI	224
Anexo Capítulo IX	242
Línea de Base Ambiental	242
Anexo - Planos del Proyecto	246

Resumen

Los hospitales son pilares fundamentales de la sociedad que velan por la salud y el bienestar de las personas a través de la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades. Pero como consecuencia de sus actividades se genera una gran cantidad de efluentes líquidos y residuos sólidos que pueden presentar un riesgo químico, biológico y físico para la salud humana y ambiental.

Durante las pasadas dos décadas han surgido en la comunidad científica global debates y preocupaciones debido a las sustancias y microorganismos que no poseen una regulación en su concentración admisible, denominados “contaminantes de preocupación emergente”.

En los últimos años, investigadores de todos los continentes se han dado cuenta de que las aguas residuales dispuestas por los hospitales son potencialmente peligrosas para los humanos y el ambiente debido a la presencia de patógenos, sustancias farmacéuticas y productos de las actividades de laboratorios y centros de estudios que resultan ser recalcitrantes a la hora de su tratamiento en plantas convencionales. En muchos casos no se cuenta con información certera sobre el destino ambiental de estos una vez fuera del establecimiento y, por lo tanto, se desconocen realmente sus impactos.

El presente proyecto aborda tanto la problemática de los efluentes líquidos como la de los residuos sólidos generados por un Hospital Interzonal de Agudos del Conurbano Bonaerense: Incluye el diseño de un sistema de tratamiento de los efluentes y el plan de gestión de todos los tipos de residuos generados.

Se propone una planta de tratamiento de los efluentes cloacales con el objetivo de reducir la carga contaminante de las aguas grises y negras. El diseño propuesto se centra, principalmente, en la remoción de los contaminantes de preocupación emergente esperados en el efluente con base en los patrones de consumo y prácticas del establecimiento. Dado que estos contaminantes no se encuentran regulados por la normativa, la definición de los criterios de concentración es uno de los grandes desafíos de este proyecto ya que implica un intenso trabajo de relevamiento bibliográfico mundial además de un análisis criterioso de considerables volúmenes de información.

Se evalúan los diversos tratamientos y sus posibles combinaciones teniendo en cuenta criterios de eficiencia, factibilidad de escalabilidad y económica, recursos y coyuntura, entre otros. La alternativa de diseño elegida está compuesta por las siguientes unidades de

tratamiento: desbaste con rejillas finas, ecualización, tamizado, coagulación, floculación, flotación por aire disuelto (DAF), ozonización y radiación UV. Se incluyen, también, los cálculos del sistema de conducción y el sistema de bombeo.

Se presenta el cómputo y presupuesto necesario, así como también los planos de la ingeniería básica de la planta de tratamiento. Como instancia obligatoria para evaluar la viabilidad ambiental del proyecto, se incluye el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) para la evaluación pertinente de la Autoridad de Control.

Finalmente, se desarrolla íntegramente el Plan de Gestión de Residuos del establecimiento de salud para el manejo de los residuos patogénicos, especiales y asimilables a domiciliarios desde su generación en la fuente hasta su entrega al transportista. Asimismo, se incluyen estrategias de distinta complejidad para la implementación de un programa de separación en origen.

Capítulo I – Introducción

Objetivo del Proyecto

Objetivo general

Diseñar un sistema de tratamiento de los efluentes y la gestión de los residuos generados en un hospital interzonal del conurbano bonaerense, cumpliendo con los requisitos normativos locales y recomendaciones internacionales.

Objetivos específicos

- Proponer un sistema de tratamiento para las aguas grises y negras del hospital, diseñando las unidades de proceso necesarias para remover o reducir la concentración de contaminantes característicos de estos efluentes que no se encuentran regulados por la normativa local vigente.
- Evaluar teóricamente la eficiencia del sistema de tratamiento propuesto para las aguas grises y negras, enfatizando en la remoción de contaminantes de preocupación emergente.
- Determinar la viabilidad técnica y económica de implementar el sistema de tratamiento y gestión de efluentes en el hospital seleccionado.
- Diseñar la gestión adecuada de los residuos generados en el hospital, considerando el tipo y cantidad de residuos, con base en el marco legal aplicable y las recomendaciones de organismos internacionales.
- Contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de efluentes y residuos hospitalarios en el conurbano bonaerense, promoviendo la protección del ambiente y la salud pública.

Estado del arte

Los hospitales son pilares fundamentales de la sociedad que velan por la salud y el bienestar de las personas a través de la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades. Los avances en ciencias y medicina se traducen en tratamientos cada vez más complejos para los cuales se utiliza un amplio espectro de fármacos y compuestos químicos. En muchos casos no se cuenta con información certera sobre el destino ambiental de estos una vez fuera del establecimiento y, por lo tanto, se desconocen realmente sus impactos.

Como consecuencia de las actividades desarrolladas por los distintos servicios médicos, laboratorios y tareas auxiliares se genera una gran cantidad de efluentes líquidos y residuos

sólidos. El tamaño del hospital influencia fuertemente las características y las cantidades de estos, así como también los servicios y facilidades ofrecidos, y las prácticas de gestión de residuos llevadas a cabo.

Entre el 75% y el 90% de los residuos sólidos generados son comparables al residuo doméstico y usualmente se lo denomina “no peligroso” o “no especial”, según la jurisdicción a la que pertenezca el establecimiento, y corresponde a un tipo de residuo sólido asimilable al domiciliario. Este proviene principalmente de los sectores administrativos, cocina y tareas de gestión interna. El restante 10-25% de los residuos hospitalarios clasifican como peligrosos y pueden presentar un sinfín de riesgos ambientales y para la salud (Organización Mundial de la Salud, 2013).

En cuanto al efluente líquido, una gran proporción del volumen generado posee características similares al líquido cloacal domiciliario y supone sus mismos riesgos, principalmente por su potencial infeccioso. Sin embargo, otra parte del efluente generado presenta un riesgo mayor que el de los líquidos cloacales domésticos: dependiendo del nivel de servicio y las tareas llevadas a cabo en el establecimiento, este podrá contener diversos químicos, fármacos y agentes biológicos patógenos, e incluso radioisótopos (Organización Mundial de la Salud, 2013) que requieren de tratamientos no convencionales o una combinación estratégica de tratamientos convencionales para su remoción. Debido a estos compuestos y microorganismos, los efluentes hospitalarios pueden representar un riesgo químico, biológico y físico para la salud humana y ambiental (Carraro et al., 2016).

La disposición de los residuos sólidos y líquidos debe realizarse respetando lo establecido por la normativa local vigente. Las regulaciones y los métodos de disposición de los residuos sólidos resultan más incisivos que los de los efluentes líquidos, y esto se debe a que se cuenta con un mayor conocimiento sobre los primeros, lo cual permite que se los disponga de manera correcta. Por otro lado, según el lugar de implantación del establecimiento, el residuo líquido hospitalario puede ser considerado un efluente asimilable al domiciliario o industrial, por lo que será obligatorio o no realizarle un tratamiento más exhaustivo según su categorización y las condiciones de vuelco; es decir, si se hará un vuelco directo a un cuerpo de agua, o indirecto como en el caso de vuelco a la red cloacal.

Durante las últimas dos décadas han surgido en la comunidad científica global debates y preocupaciones debido a las sustancias y microorganismos que no poseen una regulación en su concentración admisible, denominados “contaminantes de preocupación emergente”

(Carraro et al., 2016), muchos de ellos con impactos negativos aun escasamente conocidos. Dentro de los contaminantes de preocupación emergente encontrados en el efluente hospitalario se destacan los compuestos farmacéuticos activos, productos de cuidado personal, disruptores endocrinos, hormonas, residuos químicos, elementos radiactivos, cepas resistentes a antibióticos y patógenos no regulados (Khan et al., 2021; Carraro et al., 2016).

Numerosos estudios demuestran que los principales efectos de los contaminantes de preocupación emergente detectados en concentraciones traza (desde los $\mu\text{g/L}$ hasta los ng/L) no pueden ser neutralizados por las plantas de tratamiento convencionales (Carraro et al., 2016; Khan et al., 2021). Este es el caso de las plantas depuradoras cloacales o plantas industriales que se limitan a cumplir con las exigencias de una normativa que solo contempla el control de parámetros fisicoquímicos y biológicos que sirven de indicadores básicos. La descarga de este efluente sin un tratamiento adecuado resulta en la contaminación de los cuerpos de agua receptores y sus consecuentes impactos. Los problemas que estos pueden presentar son numerosos y diversos: desde propagación de enfermedades hídricas, carcinogénesis y resistencia bacteriana hasta su magnificación resultando en impactos en las economías regionales de comunidades que viven de la pesca, entre muchos otros que han sido registrados y estudiados.

Actualmente la República Argentina no posee una normativa que exija el control y remoción de estos compuestos, así como tampoco de numerosos agentes infecciosos de relevancia sanitaria. Son pocas las naciones que han incorporado en su normativa la regulación de algún tipo de contaminante emergente y, generalmente, las exigencias para el vuelco impuestas por cada una de ellas son dispares. Sin embargo, países como España, ya han estipulado ciertas normas respecto al manejo del efluente hospitalario que sirven como precursoras en la temática (Decreto 57/2005).

El estudio de esta problemática y sus alternativas de tratamiento se encuentra dentro de la agenda de organismos internacionales y países del primer mundo desde hace más de una década, habiéndose desarrollado ya ciertos lineamientos generales e implementado en plantas piloto y a mediana y gran escala (Organización Mundial de la Salud, 2013). Adicionalmente, el interés mundial de la comunidad científica y de los gobiernos por la generación de conocimiento sobre el estudio de los líquidos hospitalarios como una vía de transporte de diversos contaminantes se vio profundamente intensificado a raíz de la

pandemia de COVID-19. Por ejemplo, en Argentina, investigadores del país, junto a la Autoridad del Agua y el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible comenzaron en 2020 estudios en algunas localidades del conurbano bonaerense. El objetivo fue el de determinar la prevalencia y evolución de la epidemia de COVID-19 a nivel poblacional a partir del análisis de muestras de aguas residuales. En el mes de mayo de ese mismo año se conformó el equipo de investigación Detección de Coronavirus en el Ambiente en el marco de la Unidad Coronavirus del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Presidencia de la Nación, 2020).

El tratamiento de los efluentes hospitalarios previo a su descarga en cuerpos de agua es un tema de salud pública y ambiental que debe ser considerado prioritario, y sin lo cual no es posible garantizar el derecho a gozar de un ambiente sano.

Sobre los efluentes líquidos hospitalarios

Según la Organización Mundial de la Salud, el efluente hospitalario es el agua cuya calidad ha sido afectada negativamente durante la provisión de los servicios de cuidados de la salud. Está compuesto principalmente por líquido, pero también contiene sólidos y es producto de todas las actividades médicas (cirugías, primeros auxilios y emergencias, laboratorios, diagnósticos, radiología, etc.) y no médicas (sanitarios, cocina y lavadero). De esta manera se pueden reconocer tres posibles aportes al líquido residual final:

- Aguas negras: agua fuertemente contaminada que contiene altas concentraciones de materia fecal y orina.
- Aguas grises: contiene residuos más diluidos producto de higienización, baños, procesos de laboratorio, lavandería y procesos técnicos tales como agua refrigerante o el enjuague de las películas radiográficas.
- Agua de lluvia: técnicamente no es un residuo pero representa el agua de lluvia colectada en los techos de los hospitales, suelo y superficies pavimentadas. Suele escurrir hacia los drenajes y cursos de agua, y como recarga de agua subterránea, o puede ser utilizada para riego, descarga de los inodoros y otros propósitos generales de limpieza (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Según Carraro (2016), los efluentes hospitalarios pueden clasificarse, en una primera instancia, en dos categorías: descargas domésticas y descargas específicas.

Las descargas domésticas son aquellas generadas en la cocina, lavandería y sanitarios de las salas convencionales. Pueden contener una gran variedad de patógenos y contaminantes de preocupación emergente tales como compuestos farmacológicamente activos, medios de contraste, desinfectantes, detergentes y otros agentes citotóxicos o mutagénicos (Carraro et al., 2016; Verlicchi et al., 2012a; OMS, 2014, como se citó en Parida et al., 2022). Por otro lado, las descargas específicas de los hospitales son los efluentes generados como resultado de los servicios de análisis, actividades de investigación, diagnóstico y radiología. Contienen principalmente desinfectantes, heces contagiosas, fluidos corporales, residuos de drogas y elementos radiactivos. También incluyen compuestos peligrosos como ácidos, solventes, álcalis, bencenos, hidrocarburos, tinciones y otros químicos (Carraro et al., 2016; Majumder et al., 2021a; WHO, 2014, como se citó en Parida et al., 2022). Estos compuestos son responsables en gran parte por la baja biodegradabilidad del efluente (Parida et al., 2022).

Los establecimientos hospitalarios se encuadran dentro de los sectores de gran demanda de agua (Hocaglu et al., 2021). La cantidad y características del efluente generado dependerán fundamentalmente del tamaño del hospital, la densidad de camas, el número de pacientes hospitalizados y ambulatorios, el número y tipo de salas, el número y tipo de servicios, el país en el que se encuentre y la estación del año (Al Aukidy et al., 2014; Verlicchi et al., 2012). La demanda de agua observada a partir de investigaciones en diversos hospitales varía entre 200 L a 1200 L de agua por cama al día (Carraro et al., 2012; Verlicchi et al., 2010, como se citó en Khan et al., 2021).

Los estudios de caracterización de efluentes conducidos por diversos investigadores alrededor del mundo demuestran que, si bien los compuestos encontrados a partir de los análisis efectuados en muestras de hospitales de distintas características presentan similitudes, no es posible estandarizar el efluente hospitalario a nivel mundial. Esto se debe a que no todos los nosocomios brindan los mismos servicios o poseen las mismas capacidades o tecnologías, pero incluso en establecimientos similares, dependiendo del lugar en el que se encuentren, las características del efluente varían. Esto podría explicarse por la diferencia en los patrones de consumo de fármacos de las distintas sociedades debido a cuestiones como costumbres, culturas y niveles de ingreso que impiden extrapolar los datos de un hospital a otro sin haber analizado previamente todos estos puntos.

Los hospitales son una de las fuentes primarias de vuelco de compuestos farmacéuticos en el ambiente (Pariente et al., 2022). En los últimos años, investigadores de todos los continentes se han dado cuenta de que las aguas residuales dispuestas por los hospitales son potencialmente peligrosas para los humanos y el ambiente debido a la presencia de patógenos, sustancias farmacéuticas y productos de las actividades de laboratorios y centros de estudios (Carraro et al., 2016) que resultan ser recalcitrantes a la hora de su tratamiento. Muchos de estos compuestos están contenidos en las heces y la orina de los pacientes, y son excretados en la red cloacal como drogas no metabolizadas o parcialmente metabolizadas (Orias y Perrodin, 2013; Verlicchi et al., 2010a, 2012); otros tantos son desechados durante las tareas de limpieza de rutina o por desinfección de material quirúrgico, entre otras vías.

Breve caracterización

Los efluentes hospitalarios son ricos en compuestos farmacéuticos activos (PhACs por sus siglas en inglés), microorganismos y están caracterizados por altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), amoníaco, nitratos, nitrógeno total (NT), sólidos suspendidos totales (SST), carbono orgánico total (COT), etc. Si bien puede encontrarse gran similitud de los efluentes hospitalarios con los domésticos si se analizan los parámetros convencionales, el índice de biodegradabilidad de los primeros es mucho menor.

Las aguas negras contienen una amplia gama de microorganismos dado que la materia fecal y la orina provenientes de los sanitarios son el mayor aporte de microorganismos en el efluente. Además de ser patogénicos, estos microorganismos pueden desarrollar resistencia antibiótica o antimicrobial. La materia fecal y la orina también contienen PhACs sin metabolizar o parcialmente metabolizados que han sido administrados a los pacientes durante sus tratamientos (Majumder, A., 2021).

Las aguas grises provienen de actividades de cocina, lavado, baños, lavandería y otros procedimientos como desinfección y esterilización. Estos efluentes contienen compuestos recalcitrantes como surfactantes, detergentes y otros agentes citotóxicos o genotóxicos, así como también elementos radiactivos (Majumder, A., 2021).

Los residuos líquidos generados como consecuencia del trabajo de los laboratorios contienen sustancias altamente tóxicas tales como desinfectantes, detergentes, ácidos,

álcalis, residuos farmacéuticos, solventes, medios de contraste para rayos X, entre otros. Estas sustancias son tóxicas y persistentes, y permanecen en las aguas aún luego de tratamientos convencionales. Los efluentes también pueden contener metales pesados como cadmio, cobre, níquel, mercurio, estroncio, etc.

Sobre los residuos sólidos hospitalarios

El término “residuos hospitalarios o sanitarios” incluye todos los residuos generados dentro de establecimientos de salud (ES), centros de investigación y laboratorios relacionados a procedimientos médicos. Además, incluye aquellos residuos generados en los hogares como producto de cuidados de la salud tales como diálisis, autoadministración de insulina, entre otros (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Alrededor del 75-90% de los residuos generados son asimilables a residuos domésticos, comúnmente llamados “no peligrosos” o “residuos de salud generales”. Proviene mayoritariamente de actividades administrativas, de la cocina y tareas de mantenimiento, e incluye residuos de packaging y aquellos generados en tareas de mantenimiento edilicio. El porcentaje restante es conocido como “peligroso” y puede presentar una variedad de riesgos ambientales y para la salud (Organización Mundial de la Salud, 2014).

La cantidad de residuos producidos en un hospital depende del nivel de ingresos nacional y del tipo de instalación en cuestión. El Banco Interamericano de Desarrollo clasifica a los ES en tres niveles de atención. Dependiendo del nivel de complejidad de la atención que se brinda, el tipo de residuo y la cantidad producida serán diferentes. En ES de tercer nivel con procedimientos más complejos, la producción por cama será más elevada que en un establecimiento del primer nivel de atención (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

Un hospital universitario en un país de altos ingresos puede generar hasta 10 kg de residuos por cama al día, combinando todas las categorías (Comité Internacional de la Cruz Roja, 2011). Parida (2022), por su parte, informa que en promedio la generación de residuos sanitarios generalmente se encuentra en el rango de 2-4 kg residuos/cama/día, lo cual es menor comparado con los países de bajos y medianos ingresos para los cuales la generación es de 4-6 kg/cama/día. Tal como explica el autor, esto puede deberse a varias razones como por ejemplo que los países de mayores ingresos poseen mejores políticas de gestión, tecnologías de disposición más avanzadas, autoridades regulatorias competentes y trabajadores más entrenados. Sin embargo, incluso entre establecimientos de un mismo país la generación es muy variable.

En cuanto a su gestión, a nivel mundial, los servicios de gestión segura de residuos para residuos sanitarios son insuficientes, especialmente en los países menos desarrollados. Los últimos datos disponibles (del año 2019) indican que 1 de cada 3 instalaciones de atención sanitaria en todo el mundo no gestionan de manera segura los residuos sanitarios (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Breve caracterización de los residuos peligrosos

La Organización Mundial de la Salud identifica siete subcategorías de residuos peligrosos:

Tabla 1: Tipos de residuos peligrosos según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (2014).

RESIDUOS PELIGROSOS		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Cortopunzantes	Elementos con filo (con o sin uso).	Agujas hipodérmicas, intravenosas y otras; jeringas; equipos de infusión; bisturís; cuchillos; cuchillas; vidrio roto.
Infecciosos	Residuo sospechoso de contener patógenos y que presenta riesgo de transmisión de enfermedades.	Residuos contaminados con sangre y otros fluidos corporales; cultivos de laboratorio y reservas microbiológicas; residuos con heces y otros materiales que han estado en contacto con pacientes infectados con enfermedades altamente infecciosas en salas de aislamiento.
Patogénicos	Tejidos humanos, órganos o fluidos; partes del cuerpo; fetos; productos sanguíneos no utilizados.	
Farmacéuticos	Fármacos vencidos o que ya no son necesarios; items contaminados por o que contienen fármacos.	
Citotóxicos	Residuos que contienen sustancias con propiedades citotóxicas.	Residuos con drogas citostáticas usualmente usadas en terapias oncológicas; químicos genotóxicos.
Químicos	Residuos con sustancias químicas.	Reactivos de laboratorio; revelador de films; desinfectantes expirados o ya no usados; solventes; residuos con alto contenido de metales pesados como baterías, termómetros rotos o manómetros de presión arterial.
Radioactivos	Residuos que contienen sustancias radioactivas.	Líquidos de radioterapia sin utilizar o para investigaciones de laboratorio; material de vidrio, envoltorios o papel absorbente contaminados; orina y heces de pacientes tratados o testeados con radioisótopos no sellados; fuentes selladas.

Por su parte, el Comité Internacional de la Cruz Roja clasifica a los residuos peligrosos en subcategorías dependiendo del riesgo que implica cada grupo, y agrega a los residuos presurizados. Los riesgos asociados pueden ser:

- Riesgo de trauma (Cortopunzantes)
- Riesgo de infección (Cortopunzantes, infecciosos y patogénicos)
- Riesgo químico (Farmacéuticos, citotóxicos y químicos)
- Riesgo de fuego o explosión (Farmacéuticos, citotóxicos, químicos, presurizados)
- Riesgo de radioactividad (Radioactivos).

Si bien existen diversas maneras de clasificar a los residuos sanitarios, cada jurisdicción cuenta con su normativa local donde especificará la denominación utilizada en el ámbito de aplicación de las leyes.

Aumento en la generación de residuos durante la pandemia del COVID-19

La pandemia de COVID-19 ha provocado un gran aumento en los residuos sanitarios, lo que ha puesto a prueba a las instalaciones de atención sanitaria con pocos recursos y ha agravado los impactos ambientales de los residuos sólidos (Organización Mundial de la Salud, 2022).

La pandemia de COVID-19 llevó a una doble carga: un aumento en los residuos y una reducción de la capacidad de los trabajadores de la salud para gestionar esos residuos debido a la mayor carga de pacientes, el trabajo relacionado con COVID-19 y las restricciones sociales. Como resultado, la gestión segura de los residuos sanitarios se vio afectada (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Además, tal como explica la OMS en su reporte “Análisis global de los residuos sanitarios en el contexto del COVID-19”, numerosas instalaciones y países cometieron el error de clasificar el 100% de los residuos sanitarios relacionados con COVID-19 como peligrosos, en lugar del 10-15% que se produce normalmente en la atención de salud rutinaria. Varias ciudades y naciones que han enfrentado un alto número de casos emitieron directrices indicando que todos los residuos generados por pacientes con COVID-19 deben ser considerados y tratados como infecciosos. Esto ocurre a pesar de que el SARS-CoV-2 es un virus envuelto, lo que implica que se inactiva con relativa rapidez debido a factores ambientales como la luz solar o el calor. En Nueva Delhi, por ejemplo, clasificar todos los residuos de COVID-19 como infecciosos casi cuadruplicó los volúmenes de residuos durante el pico del brote en mayo de 2021 (Organización Mundial de la Salud, 2022). Cabe aclarar que, desde el inicio de la pandemia, la OMS ha afirmado que no se necesitan procedimientos adicionales o especiales más allá de la clasificación normal en infecciosos y no infecciosos para los residuos de pacientes con COVID-19.

Capítulo II - Estudios preliminares

El hospital

El Hospital “Evita Pueblo” de Berazategui de la Provincia de Buenos Aires se inauguró el 4 de noviembre del año 1994 como respuesta a la alarmante falta de atención sanitaria en el distrito que obligaba a los más de 250 mil habitantes a trasladarse a hospitales ubicados a decenas de kilómetros. Hasta el año 2022, el nosocomio contaba con la categoría de hospital zonal de agudos descentralizado. A partir del aumento en el nivel de complejidad del equipamiento, prestaciones y especialidades, el “Evita Pueblo” fue recategorizado a Hospital Interzonal, reconociendo su capacidad de responder ante una completa demanda de acciones médicas.

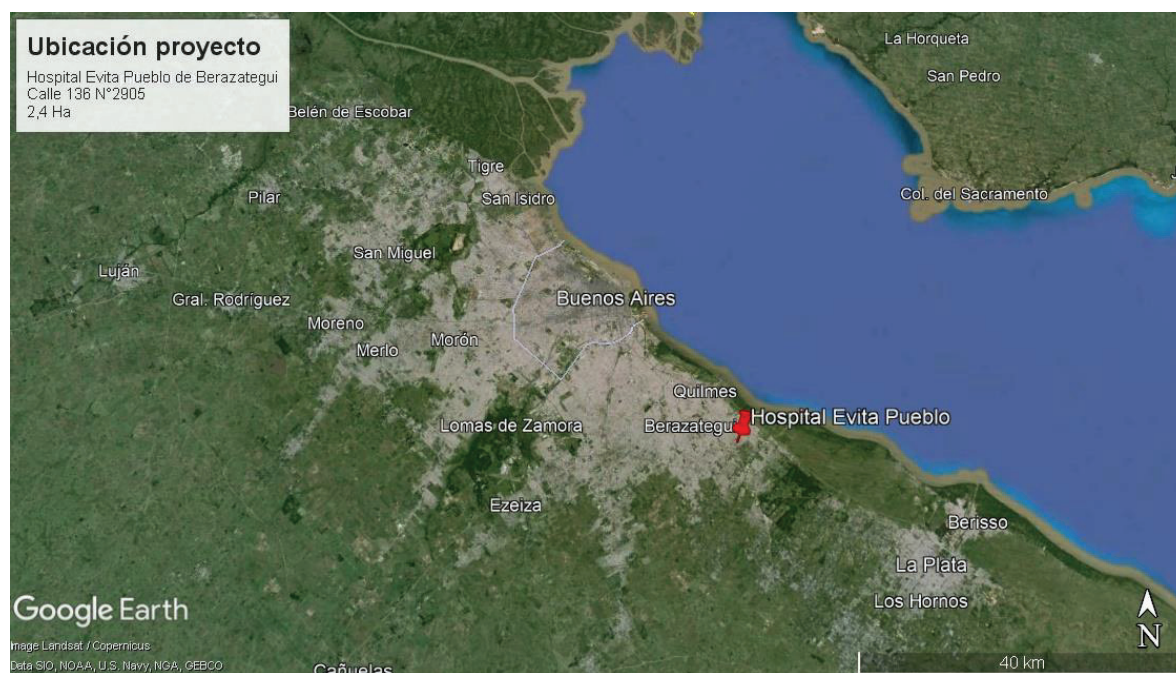


Figura 1: Ubicación del Hospital Evita Pueblo.

El Hospital se encuentra ubicado en Calle 136 N°2905 del Partido de Berazategui y su predio es de 24 mil m2. Cuenta con servicios asistenciales dedicados al cuidado de la salud de los pacientes y servicios no asistenciales que dan soporte y permiten el correcto funcionamiento y gestión del hospital.



Figura 2: Terreno ocupado por el Hospital Evita Pueblo y las dos opciones para la implantación de la Planta de tratamiento.

Dentro de los servicios asistenciales, los cuales representan el sector de mayor generación de efluentes líquidos y residuos sólidos se encuentran:

Tabla II: Servicios asistenciales del Hospital Evita Pueblo.

SERVICIOS ASISTENCIALES			
Alergias y vías respiratorias	Dermatología	Anatomía patológica	Diagnóstico por imagen
Cirugía	Gastroenterología	Clínica médica	Hematología
Emergentología	Instrumentación quirúrgica	Enfermería	Junta Médica
Hemoterapia	Nefrología	Infectología	Neonatología
Kinesiología	Odontología	Laboratorio	Oftalmología
Neumonología	Otorrinolaringología	Nutrición	Pediatría
Oncología	Toco ginecología	Ortopedia y traumatología	Urología
Psiquiatría	Cardiología	Terapia intensiva	Anestesiología

Relevamiento del Hospital

A fin de recolectar los datos necesarios para el diseño de la planta de tratamiento acorde a las necesidades del hospital en estudio, se solicitó permiso a las autoridades del nosocomio

para ingresar a los distintos servicios y realizar una encuesta a la Dirección y el personal médico y no médico.

El relevamiento de las instalaciones del Hospital se llevó a cabo en el mes de octubre del año 2023 y en agosto de 2024. Durante las jornadas se visitaron todas las áreas del establecimiento y se obtuvo información cualitativa del consumo de agua, generación de residuos patogénicos y sus disposiciones. Además, se brindaron datos de la cantidad de camas activas y total, pacientes ambulatorios y no ambulatorios atendidos en el último año y medio, provisión de agua, patrones de consumo de fármacos de los últimos meses, procedimientos llevados a cabo en cada servicio, esterilización, limpieza, cocina, gestión de los residuos sólidos, cantidad y mantenimiento de griferías y sanitarios, pérdidas de agua, entre otros.

Se presenta, a continuación, un plano del establecimiento con el código de colores para su identificación. Cabe aclarar que solo se muestra el primer piso que es donde se encuentran los servicios asistenciales.

El plano corresponde a una fotografía tomada en el establecimiento donde se exhibe el plan de evacuación.



Figura 3: Plano del establecimiento (primer piso). Fuente: Fotografía tomada en el establecimiento a partir del plano de evacuación exhibido.

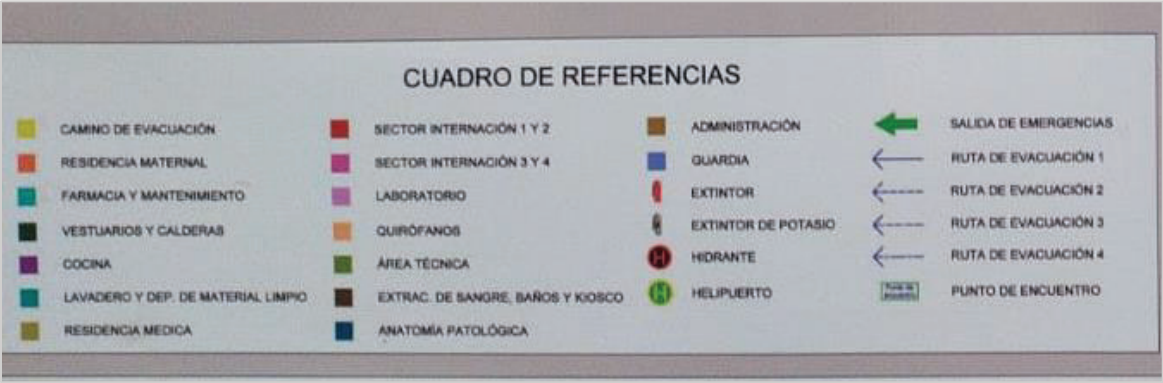


Figura 4: Código de colores del plano de la figura anterior para la identificación de los sectores del hospital.

Los sectores de internación 1, 2, 3 y 4 son también denominados por el personal como peines 0, 1, 2 y maternidad.

Capacidad

El Hospital cuenta con 71 habitaciones para internación, siendo su capacidad máxima de 250 camas. Según los datos brindados por la institución, en los últimos dos años el promedio de camas disponibles fue de 209 con un porcentaje de ocupación promedio de 66%.

Tabla III: Datos de porcentaje ocupacional brindados por el establecimiento.

2022 - 2023	PROMEDIO TOTAL
Promedio de camas disponibles	209
Promedio días de estada	4
Porcentaje ocupacional	66

Demanda y provisión de agua

El Hospital posee dos fuentes de provisión de agua: conexión a la red y explotación de agua de pozo.

El establecimiento es capaz de abastecerse en su totalidad con el agua subterránea por lo que actualmente no se hace uso del agua de red.

La toma de agua del “Evita Pueblo” se realiza a través de dos pozos de aproximadamente 70 m de profundidad, a partir del acuífero semiconfinado Puelche (la unidad de mayor explotación del sistema) perteneciente a la formación geológica Puelches.

Una vez extraída el agua, esta es almacenada en un único tanque cisterna central de 50.000 L conectado a una bomba que se enciende automáticamente cuando el nivel del reservorio alcanza los 25.000 L ya que el resto se conserva por seguridad en caso de incendios.

Los sectores de mayor demanda de agua y, por ende, de generación de efluentes líquidos son, junto con las habitaciones de internación: el servicio de cirugía, el comedor, el banco de leche materna y las tareas de limpieza de rutina.

El servicio de cirugía es probablemente el sector de mayor generación de efluentes líquidos dada la demanda de agua para los procedimientos quirúrgicos y lavado de manos. Es importante destacar que este sector es también uno de los que presenta las mayores pérdidas de agua.

En el comedor se producen diariamente 270 raciones previstas para pacientes, personal del hospital y personal periférico. Para esto se utilizan cacerolas de 50 L totalizando aproximadamente 300 L para almuerzos y 160 L para desayunos y meriendas. En cuanto a la limpieza del área, la misma se lleva a cabo constantemente y los efluentes líquidos son descargados a una rejilla que rodea todo el perímetro de la cocina.

El banco de leche materna es uno de los mayores demandantes de agua del hospital dado que se encarga del lavado y producción de biberones. Se estima que diariamente se utilizan 600 L.

El nosocomio no cuenta con servicio de lavado de textiles como sí lo hay en otros establecimientos donde el aporte al caudal total de efluentes es significativo.

Otro punto importante a analizar fueron las técnicas de esterilización, las cuales aportan un caudal pequeño al total ya que se realizan tres ciclos de esterilización por la mañana y tres por la tarde, para los que se utilizan 10 L por ciclo. El procedimiento se lleva a cabo en autoclave a vapor. El lavado previo a la esterilización no se realiza en este sector sino en cada uno de los servicios.

Al momento del relevamiento no se contaba con un registro del agua demandada por el hospital. Al consultar con personal del establecimiento, se estimó que la bomba que alimenta el tanque cisterna del nosocomio se enciende aproximadamente ocho (8) veces al día. Esto se traduce en un consumo de agua del establecimiento de 200.000 L/día (200 m³/día) aproximadamente lo que, referido a la cantidad de camas operativas actualmente (210) equivale a 952 L demandados/cama/día. Funcionando a su capacidad máxima de 250 camas, el nosocomio demandaría 238 m³/día.

Si bien Argentina no es un país desarrollado, a los cuales se les atribuyen los valores más altos de generación de efluente en la bibliografía, su cercanía al Río de La Plata y el acceso al acuífero Puelche permiten abastecer una demanda de consumo de agua considerablemente alta respecto a países industrializados que no cuentan con estas condiciones. Por lo tanto, no es de extrañar que la cantidad de efluente generada por los establecimientos hospitalarios de la provincia de Buenos Aires sea presumiblemente alta. Esto se observa también en el estudio realizado por Magdaleno et al. en el Hospital Escuela San Martín en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Además, es importante destacar que, durante el relevamiento de las instalaciones, la Dirección y el personal transmitieron su preocupación por las pérdidas de agua ya que representan un problema para el nosocomio en cuanto a la gestión eficiente de los recursos, a la cual apunta la institución. Esto se debe a diversos factores como la necesidad de recambio de griferías, deficiencias en los sanitarios e instalaciones no automatizadas que dejan correr el agua durante procedimientos quirúrgicos, donde el profesional de la salud no puede realizar el corte del flujo por motivos de asepsia y es necesario que alguien más se encargue de ello.

Disposición de las aguas negras y grises

Actualmente, el hospital vuelca las aguas negras y grises a la cloaca sin un tratamiento previo, las cuales son conducidas a la Planta del Bicentenario en el Partido de Berazategui

a cargo de Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA), Provincia de Buenos Aires. Esta planta depuradora lleva a cabo un pretratamiento para descargar finalmente en el Río de La Plata, basándose en la premisa de la dilución del efluente, por lo que este último no recibe un correcto tratamiento teniendo en cuenta su composición.

Generación de residuos

La gestión de residuos en los establecimientos de salud (RES) es un tema complejo que involucra una serie de variables (técnicas, administrativas, normativas, financieras) y actores (gestores, administradores, personal especializado). Todo esto depende en gran medida de la complejidad del ES, del contexto en el que este se encuentra, de la tecnología y de los servicios disponibles, así como de las normativas específicas de cada país (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

El Hospital Evita Pueblo genera residuos especiales y residuos patogénicos identificados por la normativa vigente como tipo A y B debido al nivel de complejidad de la atención brindada. No se generan residuos tipo C (radiactivos).

Según lo informado durante la entrevista realizada en campo, en época invernal es cuando se da la mayor generación dado que es el momento del año en donde ingresan mayor cantidad de pacientes: el hospital genera aproximadamente 720 kg de residuos patogénicos tipo B, lo cual equivale a 12 bolsas de 20 kg por turno, con tres turnos por día. La mayor proporción de los residuos generados corresponde a los descartes de sueros, además, la generación se incrementó a partir de la recategorización del hospital por la recepción de nuevos pacientes. Por otra parte, se generan aproximadamente 6000 kg de residuos asimilables a domiciliarios por día como parte de las actividades de rutina, siendo la cocina y el comedor dos de los sectores puntuales de mayor generación por la elaboración y descarte de los restos de más de 270 raciones de comida diarias. No se cuenta con datos sobre la cantidad de residuos especiales ya que son manipulados y entregados al transportista por los profesionales de cada área del hospital donde son generados. Estas áreas corresponden principalmente a laboratorios.

Tabla IV: Generación de residuos patogénicos tipo A y B en el hospital.

GENERACIÓN DE RESIDUOS		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (kg/día)
Patogénicos Tipo A	Asimilables a domiciliarios	6000
Patogénicos Tipo B	Presentan características de toxicidad y/o actividad biológica	720

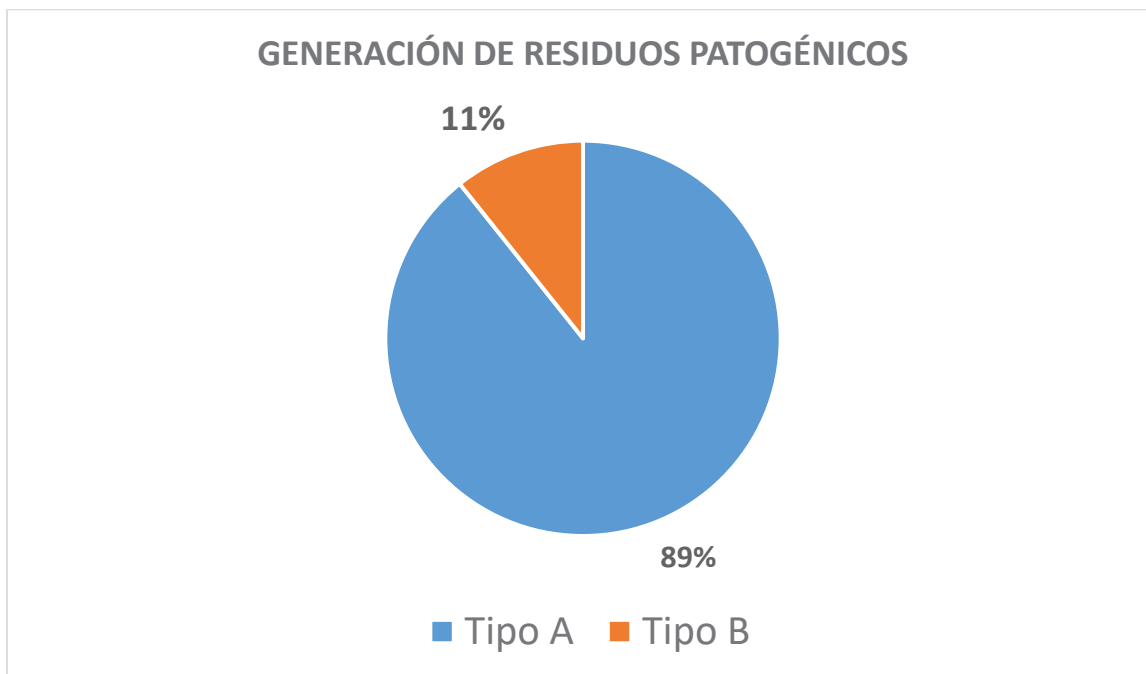


Figura 5: Porcentaje de residuos patogénicos tipo A y tipo B generados en el hospital.

Gestión de los residuos

La gestión de los residuos patogénicos se lleva a cabo respetando los lineamientos según la normativa vigente (ver Capítulo de Normativa aplicable a los Residuos). El total del personal de limpieza es de aproximadamente 90 personas. Por su parte, el equipo destinado a la correcta gestión interna de los residuos patogénicos, perteneciente al Departamento de Compras, cuenta con una persona responsable de todas las actividades relacionadas y siete operarios. De estos siete, cuatro son personal fijo y tres son reemplazo de estos. Por turno trabajan dos personas.

Se realiza una segregación primaria en contenedores con bolsa negra para los residuos tipo A y en bolsa roja para los residuos tipo B, además de descartadores para elementos cortopunzantes. Las bolsas negras se ubican en contenedores de plástico mientras que las bolsas rojas se encuentran dentro de cajas de cartón que señalan claramente que allí deben descartarse únicamente residuos patogénicos.

En total, hay alrededor de 200 a 300 contenedores ubicados en todo el hospital. Todo contenedor de bolsa roja va acompañado de un contenedor de bolsa negra. Sin embargo, se cuenta con muchos más contenedores de residuos tipo A distribuidos en todo el establecimiento por razones lógicas de generación.

Se dispone de, como mínimo, dos cajas para patogénicos tipo B de 20 kg por peine, una en cada consultorio y en sectores de generación como quirófanos, ginecología, centro obstétrico, guardia, hemoterapia, anatomía patológica, entre otros, donde por cantidad generada, características y/o practicidad no se disponen en los cestos de cada peine. Además, cada habitación cuenta con bolsas roja y negra de tamaño pequeño.



Figura 6: Elementos para disposición inicial de residuos patogénicos. Izquierda arriba: caja de cartón de 20 kg. Izquierda abajo: Descartadores de cortopunzantes. Derecha: Caja de residuos con bolsa roja y descartador de cortopunzantes.

Las cajas y bolsas rojas son provistas por el transportista y operador de los residuos tipo B. La cantidad entregada siempre es mayor a lo enviado para tratamiento, de manera que nunca falten estos recursos.

Estas bolsas son recolectadas internamente al menos una vez por turno, dependiendo de la cantidad generada, utilizando carros con ruedas para el transporte y son acopiados transitoriamente en lugares específicamente destinados para el acopio de cada tipo de residuo.

Las bolsas rojas son acopiadas en un sector específico donde se pesan, se cierran las cajas con cinta de embalar ancha y se registra la cantidad generada, tipos de residuos

descartados y sector del que provienen. Además, se identifican las cajas con un código obligatorio para su recepción por parte de la empresa transportista/operadora, Lamcef S.A.

PLANILLA DE REGISTRO					
Apellido/ Nombre	Lugar	Cantidad	Turno	Observaciones	Fecha

Figura 7: Ejemplo de planilla de registro de residuos. Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla real utilizada en el establecimiento.

Las bolsas negras se acopian transitoriamente en contenedores metálicos de 1500 kg en un sector específicos para estos residuos y son retirados por el servicio municipal. Actualmente, se cuenta con una recuperación en origen de materiales como por ejemplo cartón de empaques, que son descartados en grandes cantidades.



Figura 8: Contenedor de residuos asimilables a domiciliarios. Fuente: Fotografía propia tomada en el establecimiento.

Tanto los residuos tipo B como los tipo A, recolectados por el transportista autorizado y el servicio municipal, respectivamente, son retirados una vez al día del establecimiento. En caso de una mayor producción, se recolectan más de una vez. Ambos sectores cuentan con acceso directo desde la calle para ingreso de los camiones.

Por su parte, los residuos especiales son manipulados y gestionados por los propios sectores generadores por lo que no hay personal de limpieza y mantenimiento específicamente dedicado a esa tarea.

Durante el relevamiento, se manifestó como una de las principales problemáticas la incorrecta segregación inicial de los residuos patogénicos tipo A y B, por lo cual muchos residuos asimilables a domiciliarios terminan siendo dispuestos como patogénicos tipo B. Esto, a pesar de contar con la señalética que distingue entre residuos “comunes” y residuos patogénicos con carteles, además del color de cada bolsa. De esta manera se incrementan los costos asociados al traslado y tratamiento.

Esta problemática se replica en numerosos establecimientos de salud de la República Argentina y se han diseñado e implementado de manera exitosa estrategias para la optimización de toda la cadena de gestión de los desechos sólidos. Un ejemplo de esto es el proyecto *“Demostración y promoción de las mejores técnicas y prácticas para la reducción de desechos generados por la atención de la salud a fin de prevenir emisiones de dioxinas y mercurio al ambiente”* del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Ministerio de Salud de la Nación del año 2014.

Si bien el ES cuenta con una gestión que cumple con los lineamientos básicos indicados por la ley, la misma puede ser optimizada para lograr la correcta segregación y reducir la cantidad de residuos erróneamente desechados, mejorar el aprovechamiento de los contenedores y descartadores de cortopunzantes y mejorar las condiciones de higiene y seguridad laboral y ambiental.

Planta de Tratamiento de los Efluentes Líquidos

Capítulo III - Caracterización del efluente

Los efluentes hospitalarios poseen una toxicidad de cinco a quince veces mayor que un efluente cloacal urbano (Ajala et al., 2022). Entre los compuestos detectados en el líquido se destacan compuestos farmacéuticos originales o metabolizados como antiinflamatorios, antidiabéticos, antiepilépticos, residuos de plaguicidas, productos químicos industriales, compuestos perfluorados, surfactantes, productos de cuidado personal, analgésicos, disruptores endocrinos, antibióticos y hormonas, elementos radiactivos y microorganismos como: coliformes fecales, coliformes totales, patógenos (*E. coli*, *Vibrio cholerae*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* y *Pseudomonas aeruginosa*), elementos radiactivos y metales pesados (Khan. et al, 2020 en Ajala et al., 2022). Algunos de estos contaminantes se clasifican como microcontaminantes (10^{-6} – 10^{-3} mg/L) o macrocontaminantes ($>10^{-3}$ mg/L) según las cantidades medidas, y la mayoría no tiene un estatus regulatorio en el medio ambiente (Ajala et al., 2020).

Dada su naturaleza, estos efluentes representan un riesgo químico, biológico y físico para la salud pública y ambiental dentro de lo cual se encuentra la transmisión de enfermedades, en especial en presencia de condiciones epidémicas como el SARS-Cov-2 (Elmountassir et al., 2019 en Fatimazahra, S., 2023). Esto puede provocar el desarrollo de bacterias peligrosas que causan el brote de diversas enfermedades relacionadas con el agua que amenazan la vida humana, especialmente en los países en desarrollo. Además, las sustancias farmacéuticas presentes en los efluentes hospitalarios pueden interferir con objetivos biológicos específicos, lo cual plantea la discusión sobre los riesgos ecotoxicológicos y para la salud asociados a su presencia en el ambiente (Todedji et al., 2020 en Fatimazahra, S., 2023).

Parámetros fisicoquímicos convencionales

Generalmente, los parámetros fisicoquímicos son más altos que aquellos de los efluentes domésticos (Pariente et al., 2022).

- **Color:** El color del líquido residual varía según la sala de servicio del cual proviene. El agua gris proveniente del lavado, baño, lavandería y otros procesos como enjuague de películas radiográficas y desinfección, contiene sustancias recalcitrantes como surfactantes, detergentes y otros agentes citotóxicos o genotóxicos y elementos radiactivos. El color negro se debe principalmente a la materia fecal y la orina de los inodoros en las salas de hospital, que contienen

diversos microorganismos (Majumder et al., 2021). Esta variación de color se puede atribuir al uso de diversos tintes tóxicos, mutagénicos o cancerígenos como eosina, hematoxilina, rojo aceite y negro Sudan utilizados en los hospitales (Hocaoglu et al., 2021).

- pH: Es neutro, aproximadamente 7.5. Esto se debe a la presencia de fluidos biológicos como sangre, heces y orina (Fatimazahra et al., 2023).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5): Presentan valores altos de DQO y DBO5 (Bouزيد et al., 2021 en Fatimazahra et al., 2023). Estas altas concentraciones reflejan la gran contribución de materia orgánica liberada por los efluentes hospitalarios a la red cloacal municipal (El-Ogri et al., 2016). La relación DQO/DBO5 proporciona una primera estimación de la biodegradabilidad y el grado de contaminación por materia orgánica (Machkor et al., 2020 en Fatimazahra et al., 2023).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): Varían entre 102 y 1060 mg/L (Hocaoglu et al., 2021). Estos valores se explican por la alta actividad del hospital y representan todas las partículas minerales, orgánicas y coloidales suspendidas en el agua (Machkor et al., 2020 en Fatimazahra et al., 2023).
- La conductividad promedio alcanza un valor de 2250.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una gran variación de 62 a 14,586 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Bouزيد et al., 2021 en Fatimazahra et al., 2023). Esto se explica por la carga significativa de material inorgánico y orgánico producido por los vertidos hospitalarios (El-Ogri et al., 2016).
- Oxígeno Disuelto (OD): El nivel promedio de oxígeno disuelto es de 1.29 mg/L (Todedji et al., 2020 en Fatimazahra et al., 2023), por debajo del nivel crítico (4 mg/L) para la supervivencia de microorganismos aeróbicos (Adanlokonon et al., 2018 en Fatimazahra et al., 2023). Esta baja oxigenación puede deberse al consumo de oxígeno disuelto por las bacterias aeróbicas durante la degradación de la materia orgánica (Fatimazahra et al., 2023).
- Fósforo Total (TF): La concentración de fósforo total varía entre 0.7 y 15.5 mg/L (Hocaoglu et al., 2021) y puede alcanzar los 128.74 mg/L (Bouزيد et al., 2021 en Fatimazahra et al., 2023). Esto se puede explicar por el uso de detergentes en los hospitales (Fatimazahra et al., 2023).
- Amonio (NH_4): La concentración promedio de amonio registrada es de 47.21 mg/L (Todedji et al., 2020 en Fatimazahra et al., 2023). Su presencia se atribuye a la

degradación incompleta de la materia orgánica, siendo un indicador significativo de la contaminación del agua por vertidos humanos, probablemente debido a la transformación de la urea en amoníaco (Fatimazahra et al., 2023).

Caracterización microbiológica

La evaluación de marcadores de contaminación fecal y patógenos se suele incluir *Escherichia coli* (*E. coli*) dentro de la composición bacteriológica de las aguas residuales hospitalarias ya que se utiliza generalmente para identificar coliformes fecales, dado que representa del 80 al 90% de los coliformes termotolerantes identificados. *E. coli* es una bacteria anaerobia facultativa que se encuentra en el intestino grueso y las heces. Su presencia indica contaminación fecal (Ajala et al., 2022).

Debido al consumo significativo de agua por cama y, por ende, mayor dilución del efluente hospitalario, y la presencia de desinfectantes y antibióticos (Carraro et al., 2016; Adanlokonon et al., 2018 en Fatimazahra et al., 2023), se ha detectado una mayor contaminación fecal (coliformes fecales y totales) en el efluente doméstico que en el hospitalario (Emmanuel et al., 2004).

El efluente hospitalario presenta una mayor concentración de virus patógenos como norovirus, adenovirus, rotavirus, virus de la hepatitis A y enterovirus (Oliveira et al., 2018). De hecho, se ha demostrado que las concentraciones de enterovirus son 2-3 veces más altas que en las aguas residuales municipales (Adlhart et al., 2018 en Ajala et al., 2022).

También, el virus SARS-CoV-2 se ha detectado en los efluentes hospitalarios durante los últimos años (Saba et al., 2021). Es sabido que los virus son altamente estables incluso bajo condiciones adversas. A pesar de esto, el SARS-CoV-2 es inestable en presencia de desinfectantes y a temperaturas mayores a 20°C. Sin embargo, estos virus pueden sobrevivir cuando quedan envueltos dentro de partículas fecales o sólidos suspendidos. Además, el virus contenido en la cloaca puede generar aerosoles cargados con virus durante la descarga de aguas residuales y proveer una ruta aérea para su transmisión (Majumder et al., 2021). Según lo analizado en la bibliografía por Majumder (2021), los resultados sugieren que la ocurrencia de ARN de SARS-CoV-2 en efluentes es directamente proporcional al porcentaje de personas infectadas.

Metales pesados

Se han encontrado diferentes metales pesados en las aguas residuales hospitalarias, como el platino debido a la excreción de pacientes de oncología que han recibido cisplatino, carboplatino u otros medicamentos citostáticos (Badea et al., 2019 en Ajala et al. 2022). El mercurio se encuentra ampliamente en desinfectantes, agentes de diagnóstico y diuréticos como componente activo; y debido al gran momento magnético del gadolinio, a menudo se encuentra en el medio de contraste yodado utilizado en la resonancia magnética. El mercurio y el platino son los metales pesados más comunes detectados en los efluentes hospitalarios. Otros metales pesados, como cobre, plomo, cadmio, hierro y níquel, se encuentran comúnmente en las aguas residuales municipales en cantidades similares (Ajala et al., 2022). Las concentraciones varían ampliamente entre los establecimientos, pero se han registrado desde pocos microgramos hasta varios miligramos por litro, según el metal analizado (Pariente et al., 2022).

Tabla V: Rango de concentraciones de metales encontrados en distintos establecimientos hospitalarios. Fuente: Pariente et al., 2022.

PARAMETER	RANGE OF CONCENTRATIONS	REFERENCE
Hg, µg/L	0.3–37	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); Luján-Mondragón et al., 2019; Nasri et al. (2017)
Pt, µg/L	0.01–289	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017)
Ag, µg/L	150–437·10 ³	Oliveira et al. (2018)
As, µg/L	0.8–17	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); Luján-Mondragón et al., 2019
Cu, µg/L	27–4010	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); El-Ogri et al. (2016); Nasri et al. (2017)
Ni, µg/L	7–670	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); Luján-Mondragón et al., 2019
Pb, µg/L	0–1050	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); El-Ogri et al. (2016); Nasri et al. (2017)
Zn, µg/L	70–4880	de Oliveira Schwaickhardt et al. (2017); Nasri et al. (2017)
Fe, µg/L	361–4830	El-Ogri et al. (2016); Nasri et al. (2017)
Cd, µg/L	10–70	El-Ogri et al. (2016)
Cr, µg/L	390–630	Luján-Mondragón et al., 2019; Nasri et al. (2017)
Co, µg/L	0.13–0.26	Nasri et al. (2017)
Mn, µg/L	25–55	Nasri et al. (2017)

Compuestos farmacéuticos activos

Los residuos farmacéuticos en las aguas residuales hospitalarias están determinados por una combinación de tres factores principales: la cantidad administrada, la fracción excretada y las propiedades químicas (principalmente biodegradabilidad y estabilidad) (Ajala et al., 2022).

Los grupos de tratamiento más comunes son los medios de contraste, analgésicos, citostáticos y antibióticos, que representan más del 40% de la concentración total observada en las aguas residuales hospitalarias. Otras clases identificadas de productos farmacéuticos detectados incluyen medicamentos antiepilépticos, psicoanalépticos, antiinflamatorios y betabloqueantes con una concentración máxima del 20% de la concentración total analizada (Verlicchi et al., 2018 en Ajala et al., 2022).

Otros productos farmacéuticos que se han encontrado en las aguas residuales incluyen reguladores lipídicos, antidepresivos, antipiréticos, antirreumáticos, broncodilatadores, agonistas beta-2 adrenérgicos, estrógenos, mucolíticos y vasodilatadores (OMS, 2013).

Los compuestos antibióticos son los productos farmacéuticos de uso más común en la medicina moderna que llegan rápidamente al medio acuático (Kümmerer, 2009; Watkinson et al., 2009 en Pariente et al., 2002).

Por su parte, los medios de contraste para rayos X contienen compuestos orgánicos yodados absorbibles (AOX). Dado que los AOX son biológicamente inertes y estables, se excretan casi por completo al día siguiente de su administración y se introducen en las aguas residuales (OMS, 2013).

Se suelen detectar concentraciones más altas para productos químicos específicos (como ibuprofeno, paracetamol, ciprofloxacina, cafeína, iomeprol, gabapentina, iopamidol, iopromida, teobromina, metformina), con numerosos agentes de contraste en el rango de mg/L (Ram et al., 2020 en Ajala et al., 2022).

Tabla VI: Concentraciones promedio de las principales familias de compuestos farmacéuticos y su comparación con las concentraciones en efluentes cloacales urbanos. Adaptado de Verlicchi et al., 2010.

COMPUESTOS FARMACÉUTICOS			
Clase terapéutica	Efluente hospitalario, valores medios	Efluente domiciliario, valores medios	Ef. Hosp. / Ef. Dom.
Analgésicos (ug/L)	100	11,9	8-15
Antibióticos (ug/L)	11	1,17	5-10
Citoestáticos (ug/L)	24	2,97	4-10
β-bloqueadores (ug/L)	5,9	3,21	1-4
Hormonas (ug/L)	0,16	0,1	1-3
Medios de contraste iodados (ug/L)	1008	6,99	70-150

Parámetros seleccionados

Los parámetros seleccionados para caracterizar el efluente pueden dividirse en dos grandes grupos: parámetros “convencionales” o regulados por la normativa y contaminantes de preocupación emergente no regulados por la normativa.

Dentro de los parámetros convencionales se encuentran los citados por las normativas vigentes como ph, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos, entre otros. En cuanto a la selección de los contaminantes de preocupación emergente, se utilizó como criterios esencialmente una de dos condiciones: que se espere encontrarlo en elevadas concentraciones en el líquido y/o que su impacto sea relevante incluso a concentraciones traza.

Los contaminantes de preocupación emergente en los cuales se hizo énfasis fueron: fármacos, contrastes para rayos X, microorganismos patógenos de relevancia y halogenuros orgánicos adsorbibles. Para cada caso se seleccionó un representante que fuese utilizado mayoritariamente en el Hospital en cuestión. Esta información fue brindada por el área de Farmacia durante el relevamiento. Es pertinente aclarar que la cantidad consumida de cada compuesto no está directamente relacionada con su concentración en el efluente dado que entran en juego cuestiones como la concentración consumida, la periodicidad, tiempos y porcentajes de metabolización y formación de metabolitos, entre otras cosas.

- **Fármacos:** Los fármacos de mayor importancia consumidos en el hospital son, en orden decreciente, antibióticos, psicofármacos, analgésicos, antifebriles y betabloqueantes (antihipertensivos). Se seleccionó como representantes para cada uno de ellos ciprofloxacina, carbamazepina, diclofenac, paracetamol y atenolol, respectivamente.
- **Contrastes para rayos X:** En particular se utilizan el diatrizoato y el ioversol, contrastes iodados. Se seleccionó como representante la iopromida, un medio de contraste de baja osmolaridad, hidrosoluble y nefrotópico al igual que el ioversol. Se optó por la iopromida ya que se trata del compuesto más similar, pero del cual se cuenta con mayor información en bibliografía.
- **Microorganismos patógenos de relevancia:** Si bien existen una gran cantidad de patógenos de relevancia, este proyecto se enfocó en coliformes totales y SARS-CoV-2.

Criterios de concentración en el efluente

Para la caracterización del efluente se analizaron diversos aspectos dada la complejidad que supone el mismo. Se realizó el relevamiento de bibliografía de todo el mundo donde, a su vez, los autores recopilaron resultados de cientos de hospitales. Si bien la información recopilada es abundante, de ella se deduce que no es posible la estandarización de este tipo de efluente, ni siquiera en establecimientos de las mismas características o localización. Además, no se ha encontrado en bibliografía ningún estudio que haya analizado en su totalidad los aspectos fisicoquímicos y biológicos del efluente, por lo que la caracterización propuesta en este trabajo se compone de los resultados de varios autores cuya elección no se realizó aleatoriamente, sino que se analizó que los valores sean coherentes, a pesar de no tratarse de las mismas muestras.

En primera instancia se compararon los rangos de concentraciones propuestos por diversos autores que han recopilado información de bibliografía de todo el mundo. Esto se hizo para establecer criterios mínimos y máximos de manera de descartar valores atípicos o poco probables.

Verlicchi (2010, 2012, 2015, 2021), Pariente (2022), Hocaglu (2021), Majumder (2021), Ajala (2022), Berto (2009) y Carraro (2016), entre otros, recopilaron y analizaron la vasta bibliografía sobre caracterización de efluentes de hospitales a partir de la cual pudieron establecer tablas con criterios de concentraciones mínimas y máximas posibles de

encontrar. A su vez, algunos de estos autores retoman los análisis efectuados por los otros, validando y ampliando el repertorio con nuevos casos. A partir de estas compilaciones de más de doscientos estudios llevados a cabo en hospitales de todo el mundo, se definieron los valores máximos y mínimos posibles de cada compuesto de interés. Además, si bien una estandarización del efluente no es del todo posible, se decidió utilizar valores cercanos a la media para cada parámetro de manera de disminuir la posibilidad de incurrir en subestimaciones o sobreestimaciones de los mismos por seleccionar resultados de unos pocos estudios que no fueron analizados estadísticamente entre sí y que se esperaba que mostraran una gran variabilidad por ser un N bajo a comparación de los ya analizados por otros autores; o por tomar como referencia a un solo trabajo que no resultara extrapolable al presente caso en estudio.

Por otro lado, en los casos en los cuales se contaba con una gran cantidad de datos, como es el caso de los parámetros fisicoquímicos convencionales como DBO5 y DQO, por nombrar algunos, se optó por informar ya no la moda del rango de datos mundiales, sino un valor medio de los datos regionales ya que se presume que los patrones de consumo son de mayor similitud a los de Argentina (como es el caso de Brasil, de donde proviene la mayor cantidad de información de Latinoamérica). A continuación, se muestra una tabla resumida con los parámetros que son de interés para el proyecto por resultar esenciales en el dimensionamiento de las unidades de tratamiento o porque superan el límite establecido por normativa o recomendado por instituciones científicas. Para la tabla detallada, consultar el capítulo de normativa.

Tabla VII: Tabla de caracterización resumida con los parámetros relevantes para el proyecto y las referencias analizadas para definir el valor.

PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE	REFERENCIA
Temperatura	°C	20	Metcalf; AySA S.A.; Gonzalez et al. (2000); Bibliografía sobre cloacales.
pH	upH	7,5	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	200	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios; Berto et al. (2009); Majumder et al. (2021).
Coliformes Fecales (f)	NMP/100 ml	100000	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios
D.B.O.	mg/l	221	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios; Berto et al. (2009); Majumder et al. (2021).
D.Q.O.	mg/l	785	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios; Berto et al. (2009)
Ciprofloxacina	mg/l	0,382	Magdaleno et al.
Paracetamol	mg/l	1,4	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Diclofenac	mg/l	0,015	Máximo Ajala et al.; Pariente et al.; Parida et al. (2021)
Atenolol	mg/l	5,49	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Carbamazepina	mg/l	0,03	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Iopromida	mg/l	2,5	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
SARS-CoV-2	Copias genómicas/L	500-18700	Pariente et al. (2022)

Capítulo IV - Normativa aplicable a los efluentes líquidos

Se utilizó como lineamiento para el diseño de la planta de tratamiento los límites establecidos por la normativa aplicable para los parámetros físicoquímicos y biológicos convencionales, y normativa y guías internacionales para los contaminantes de preocupación emergente relevantes en el efluente.

Normativa local

La Planta de Tratamiento diseñada debe cumplir simultáneamente con límites permitidos en normativas correspondientes a la jurisdicción Nacional y Provincial: la Ley N°26.221 con su Marco Regulatorio aplicable al área de concesión de AySA, y la Resolución 389/98 y modificatoria Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua aplicable a la Provincia de Buenos Aires.

Normativa Nacional

Ley Nacional de Presupuestos Mínimos – Ley General del Ambiente N° 25.675

La ley incluye principios de política ambiental, evaluación de impacto ambiental, participación ciudadana y establece un marco para la responsabilidad por daños ambientales, así como la educación y la información en materia ambiental.

Artículo 41° de la Constitución Nacional

El artículo 41 de la Constitución Nacional Argentina establece el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. También impone la obligación del Estado de proteger ese ambiente, garantizando la preservación de la diversidad biológica y los recursos naturales, y promoviendo la educación y la participación en la gestión ambiental.

Artículo 121° de la Constitución Provincial de Buenos Aires

El artículo 121 de la Constitución de la Provincia de Buenos Aires establece que la provincia debe garantizar la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Este artículo enfatiza la responsabilidad del Estado provincial en la promoción de políticas que aseguren un desarrollo sustentable y la participación de la comunidad en la toma de decisiones ambientales.

Ley Nacional N° 26.221

El Hospital en cuestión se encuentra en el Partido de Berazategui donde el prestador del servicio de cloacas es el Municipio. Sin embargo, el vuelco de los líquidos cloacales se

realiza a la Planta de pretratamiento “Planta del Bicentenario” de Agua y Saneamientos Argentinos S.A., por lo que la prestación del servicio cloacal está regida por la Ley Nacional N° 26.221 (Artículo).

ARTICULO 3°: El ERAS tendrá por finalidad principal la regulación y control de la prestación de los servicios de agua potable y desagües prestados (...) incluyéndose también la recepción de desagües cloacales en bloque de los Partidos de Berazategui (servicio municipal) (...).

El servicio sanitario de Berazategui debe ajustarse a lo establecido por el Marco Regulatorio de esta ley, incluyendo lo que guarde relación con los parámetros de vuelco a la red cloacal (a pesar de ser un servicio municipal).

En cuanto a la calidad del efluente que puede ser vertido a la red cloacal (Capítulo II – Artículo 17°), la misma se rige por el Anexo B – Normas para desagües cloacales del Marco Regulatorio, más específicamente lo establecido en la columna “Desagües a cuencas” cuyo control está a cargo de la Concesionaria, en este caso, AySA. El Partido de Berazategui vuelca a la denominada Cuenca Riachuelo-Berazategui, la cual no se corresponde con una clasificación de cuenca hidrológica sino con una categorización establecida por AySA para la gestión de los efluentes.

La primera columna del Anexo B exige determinados límites de vuelco de manera que todo efluente que sea vertido en la red sea asimilable al líquido cloacal. En particular, esta exigencia está dirigida a los efluentes industriales ya que es la concesionaria quien aprueba el permiso de vuelco y, por ende, quien establece qué características debe presentar el influente de la planta.

Tanto los efluentes cloacales como los industriales, deben obedecer los límites de vuelco y hace mención de la prohibición de arrojar residuos especiales, peligrosos y/o patogénicos.

CAPITULO II: NORMAS DE SERVICIO

ARTICULO 17°. — TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Efluentes cloacales

La Concesionaria debe verter efluentes cloacales conforme a los parámetros establecidos en el presente Marco Regulatorio (Anexo B) y

proponer los planes que permitan ejecutar las acciones y obras que contemplen su tratamiento.

Efluentes industriales

Los efluentes industriales serán obligatoriamente vertidos a la red cloacal operada por la Concesionaria cuando cumplan con las normas establecidas en el presente Marco Regulatorio y Normas Nacionales aplicables, con las excepciones que establezca la Autoridad de Aplicación a solicitud de los Usuarios.

(...) Los efluentes industriales deberán ajustarse a las normas aplicables relativas a la calidad, concentración de sustancias y volumen de acuerdo a lo indicado en el Anexo B del presente Marco Regulatorio.

Las Normas de vertido son las fijadas por la Autoridad de Aplicación en un todo de acuerdo a las disposiciones del Decreto N° 674/89 y demás Normativa complementaria y modificatoria o aquella que se dicte en el futuro.

(...) Está prohibido arrojar o verter residuos peligrosos, especiales y/o patogénicos, así como también barros u otros residuos contaminantes en el sistema de desagües cloacales operados por la Concesionaria como método de disposición (...).

ARTICULO 32°.- AGUA EN BLOQUE Y/O DESAGÜE CLOACAL EN BLOQUE

(...) Para el caso de desagüe cloacal en bloque, las normas de volcamiento para esta prestación deberán ajustarse a lo establecido en el Marco Regulatorio, debiendo asumir el requirente los compromisos derivados del mismo.

Tabla VIII: Ley N° 26.221 - ANEXO B.- NORMAS PARA DESAGÜES CLOACALES.

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES PARA DESCARGAR A:
		Colectora Cloacal
PH		5,5 - 10
SSEE	mg/l	100
SULFUROS	mg/l	1
TEMPERATURA	°C	45
DBO (Sobre muestra bruta)	mg/l	200
DQO	mg/l	-
OXÍGENO CONSUMIDO DEL KMNO4 (Sobre muestra bruta)	mg/l	80
MES	mg/l	-
CIANUROS TOTALES	mg/l	1
CIANUROS DESTRUCTIBLES POR CLORACIÓN	mg/l	0,1
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	50
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,2
CROMO TRIVALENTE	mg/l	2
SRAO DETERGENTES	mg/l	5
CADMIO (CD)	mg/l	0,1
PLOMO (PB)	mg/l	0,5
MERCURIO (HG)	mg/l	0,005
ARSÉNICO (AS)	mg/l	0,5
SUSTANCIAS FENÓLICAS	mg/l	0,5
PLAGUICIDAS Y HERBICIDAS	-	-

Ley N°13.577 - Resolución 79.179/90 y modificatorias

En el Decreto 674/89 de la Ley N°13.577 (“Ley Orgánica de Obras Sanitarias de la Nación”) sobre vertidos residuales se establece el régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos industriales o barros originados por la depuración de aquéllos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua. El Artículo 3° explicita que esta ley es aplicable al caso de vuelco en bloque también.

Normativa Provincial

Resolución 389/98 y su modificatoria Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua

La Resolución 389/98 aprueba la reglamentación que establece normas de calidad de los vertidos de los efluentes líquidos residuales y/o industriales a los distintos cuerpos receptores de la provincia de Buenos Aires.

En su modificatoria, Resolución 336/03, la Autoridad del Agua incorpora al listado de establecimientos a los cuales alcanza esta normativa a los centros de salud.

*Artículo 2º: **Incorpórase a partir de la fecha de la presente en el Anexo I de la Resolución N° 389/98 (ramas de actividades a las que no se les permite disponer sus efluentes líquidos residuales y/o industriales a pozos absorbentes), los siguientes establecimientos:***

Clínicas, Sanatorios, Centros de Salud, de Diálisis, Asistenciales y aquellos inmuebles o establecimientos que por sus actividades puedan afectar directa o indirectamente la salud y bienestar de la población, la calidad de una fuente de agua (ya sea subterránea y/o superficial), suelo y/o propague bacterias y/o virus de tipo patógeno, encuadrándose los mismos en Código 30031- Nivel de Riesgo 4.

Tabla IX: Resolución (AGOSBA) 389/98 - ANEXO II Parámetros de calidad de las descargas. Límites admisibles. Modificado por Resolución (MAAyP) 336/03.

III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤5,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤3,0
	Cromo Total	mg/l	3111 B y C	≤2,0
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤0,2
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	≤0,5
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤0,02
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y C	≤2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y C	≤5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤0,5
	Bario	mg/l	3111 B	≤2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	≤2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤1,0
	Plaguicidas Organoclorados (a)	mg/l	6630 B	≤0,5
IV	Plaguicidas Organofosforados (g)	mg/l	6630 B	≤1,0
	Nitrógeno Total (d)	mg/l	4500 N org B (NTK)	≤105
	Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/l	4500 NH ₃ +F	≤75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	≤30
	Fósforo total (d)	mg/l	4500 PC	≤10

A partir de los límites permitidos para el vuelco a red cloacal establecidos por AySA y ADA se seleccionó para cada parámetro normado el límite más exigente.

Normativas y lineamientos internacionales

Los límites para los contaminantes de preocupación emergente en los vertidos de aguas residuales aún no están regulados (Barbosa et al., 2016).

Si bien a nivel internacional numerosos países han puesto en vigencia normas referidas a contaminantes de preocupación emergente, pocas de ellas hacen referencia a límites permisibles. La legislación suele referirse más bien a exigencias mínimas de los procesos

de tratamientos de las plantas a las que se vuelcan y concentraciones admisibles de los parámetros fisicoquímicos convencionales. En el caso particular de los efluentes hospitalarios, la normativa vigente a nivel mundial es mucho más acotada pudiéndose encontrar casos de países donde el efluente hospitalario es asimilable al cloacal y es directamente descargado a la red cloacal sin previo tratamiento (como en Argentina, Italia, España y Brasil) así como también países donde la actividad de centros de salud categoriza como industrial y debe cumplir con requisitos más estrictos para su disposición (por ejemplo China e India).

Dentro de la normativa mundial vigente se encuentran, entre otras que no se mencionan por ser menos exigentes, las siguientes normas:

- Ley de Protección de Aguas de Suiza (Water Protection Act) (2016): Más específicamente la Waters Protection Ordinance (WPO) brinda una concentración máxima tolerable para vuelco en cuerpo de agua para el diclofenac y dos antibióticos macrólidos.
- Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo: Esta directiva marco establece una lista de 33 Sustancias Prioritarias (SP) para las aguas superficiales y sus Estándares de Calidad Ambiental (ECA) asociados. Estas sustancias son contaminantes que se sabe o se sospecha que presentan un riesgo significativo para el medio ambiente acuático. La Directiva no incluye productos farmacéuticos.
- Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo: Esta Directiva modifica la Directiva 2008/105/CE. Agrega requisitos de monitoreo y tratamiento para un grupo ampliado de 45 Sustancias Prioritarias (incluye algunas no contempladas en la versión anterior). Busca una mayor protección ambiental del agua. No hace referencia a concentraciones de compuestos farmacéuticos pero su Artículo N°8 establece *Disposiciones específicas para sustancias farmacéuticas* donde hace referencia a un enfoque estratégico a partir del cual la Comisión (...) *propondrá medidas a escala de la Unión y/o de los Estados miembros, según corresponda, para tratar las posibles consecuencias medioambientales de sustancias farmacéuticas, en especial las mencionadas en el artículo 8 ter, apartado 1, para reducir sus descargas, emisiones y pérdidas en el medio acuático, teniendo en cuenta necesidades de salud pública y la relación coste/eficacia de las medidas propuestas(...)*.

- Decisión 2015/495/UE de la Comisión: Establece la primera Lista de Vigilancia de sustancias para monitoreo en la Unión Europea bajo la Directiva 2008/105/CE modificada. Esta lista incluye varios contaminantes de preocupación emergente como antibióticos, hormonas, plaguicidas y aditivos alimentarios.
- Decisión 2018/840/UE de la Comisión: Actualiza la Lista de Vigilancia de la Decisión 2015/495/UE, agregando o eliminando sustancias según la información científica disponible. Se establece una concentración límite para el diclofenac sin embargo, esta resulta mucho más permisiva que la de la ley suiza.
- DPR N° 227/2011 sobre la simplificación de la normativa ambiental de Italia: Establece concentraciones límite para parámetros convencionales en efluentes hospitalarios que son volcados en una planta de tratamiento municipal. No establece límites para plantas de tratamiento in situ.

Reconocidas instituciones dedicadas a la investigación de los contaminantes de preocupación emergente en agua también han elaborado sus listas de compuestos prioritarios, sin embargo, muchas de estas no establecen concentraciones límite ni tampoco tienen peso legal. Entre ellas:

- Lista Internacional Prioritaria de PhACs de la Coalición Mundial de Investigación del Agua (GWRC): La Coalición Mundial de Investigación del Agua (GWRC, por sus siglas en inglés) desarrolló una Lista Internacional Prioritaria de PhACs relevante para el ciclo del agua, basada en los compuestos que presentan un riesgo potencial en el abastecimiento de agua (Coalición Mundial de Investigación del Agua, 2008). Según GWRC, 44 compuestos se clasifican en tres grupos principales: Clase I (10), Clase II (18) y Clase III (16), basados en los siguientes criterios: toxicidad humana, ecotoxicidad, degradabilidad, resistencia al tratamiento y presencia en el medio ambiente (Rizzo, L. et al, 2019).
- Estándares de calidad ambiental (ECA) propuestos para contaminantes de preocupación emergente por el Centro Suizo de Ecotoxicología Aplicada Eawag-EPFL: Incluye PhACs, estrógenos esteroideos, plaguicidas, productos químicos industriales y agentes complejantes que representan un riesgo para los organismos acuáticos cuando las concentraciones promedio anuales en

las aguas superficiales superan los ECA crónicos (Robert et al., 2011 en Rizzo, L. et al, 2019).

- Ley de Agua Potable Segura de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos: La EPA tiene regulaciones para el agua potable que abarcan más de 90 contaminantes. La Ley de Agua Potable Segura (SDWA) incluye un proceso que la EPA debe seguir para identificar y enumerar contaminantes no regulados. Este proceso puede conducir al desarrollo de una Regulación Nacional Primaria de Agua Potable (NPDWR) en el futuro. La EPA debe publicar periódicamente esta lista de contaminantes (llamada Lista de Candidatos a Contaminantes o CCL) y decidir si regulará al menos cinco o más contaminantes de la lista (llamado determinación regulatoria). Una determinación regulatoria es una decisión formal sobre si la EPA debe iniciar un proceso de elaboración de normas para desarrollar una NPDWR para un contaminante específico. La EPA también utiliza la CCL para priorizar los esfuerzos de investigación y recopilación de datos para ayudar a la Agencia a determinar si debe regular un contaminante específico (US EPA, 2023). En las determinaciones regulatorias para las CCL 1,2,3 y 4 no se han incorporado compuestos farmacéuticos o contrastes para rayos X pero establece lineamientos y criterios también aplicables a estos.
- Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) - Scientific Opinion on "Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive" de la Comisión Europea: el Comité emite dictámenes sobre cuestiones relacionadas con riesgos emergentes o recientemente identificados para la salud y el ambiente, así como sobre temas amplios, complejos o multidisciplinarios que requieren una evaluación exhaustiva de los riesgos para la seguridad del consumidor o la salud pública, y cuestiones conexas no cubiertas por otros organismos de evaluación de riesgos de la Unión Europea. En los documentos de las opiniones científicas se informan concentraciones relacionadas con parámetros toxicológicos de distintos compuestos como el diclofenac y la carbamazepina.

Es importante enfatizar en la necesidad que existe de profundizar en el estudio de los impactos asociados a los contaminantes de preocupación emergente y poder asimismo relevar aquellos compuestos que resultan de mayor preocupación en cada región para

ajustar los límites a los cuerpos de agua, los patrones de consumo y la mejor tecnología disponible, entre otras cosas.

Criterio de definición de concentraciones máximas permitidas

Con el objetivo de elaborar una tabla que establezca los valores límite para cada parámetro, incluyendo los contaminantes de preocupación emergente elegidos, se procedió de la siguiente manera:

- **Parámetros regulados:** Aquellos parámetros que se encuentran regulados por normativa local respetan el valor establecido por esta. En caso de no encontrarse regulado localmente pero sí en otro país, se adoptó la norma internacional. En todos los casos, si hubiere más de una norma que lo regulase, se adoptó el valor más estricto.
- **Contaminantes de preocupación emergente:** Se adoptaron criterios recomendados por la comunidad científica e instituciones de prestigio como la US EPA, la Comisión Europea, el Departamento de Salud de Minnesota y la FOEN de Suiza. El límite propuesto para los parámetros no regulados o para los cuales no se reportó un límite recomendado se basó en el Nivel Equivalente para Agua Potable (DWEL en inglés, Drinking Water Equivalent Level) a partir del cual la EPA establece un Nivel Máximo de contaminante para el cual no se conocen ni se anticipan efectos adversos para la salud de las personas, siempre que se mantenga un margen de seguridad adecuado (US EPA, 2024). Los DWEL utilizados son los reportados por diversos autores. En el caso de contrastes para rayos X, los autores hacen referencia a porcentajes de remoción recomendados en lugar de concentraciones límite.

A continuación, se presentan los parámetros que se utilizaron para el diseño del proceso de tratamiento y el correspondiente criterio en el cual se basó su elección, junto con el valor estimado para el efluente crudo correspondiente a este proyecto según el capítulo “Caracterización del efluente”.

Tabla X: Parámetros característicos del efluente, normativa vigente utilizada para el diseño de la planta de tratamiento y concentración en el efluente asignada con sus respectivas referencias. En rojo, los parámetros fuera de lo permitido o recomendado para el vuelco.

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMATIVA	LÍMITE DE DISEÑO	EFLUENTE	REFERENCIA
Temperatura	°C	Res. 389/98 ADA / Ley N° 26.221 ERAS	≤45	20	Metcalf; AySA S.A.; Gonzalez et al. (2000); Bibliografía sobre cloacales.
pH	upH	Res. 389/98 ADA	7,0–10	7,5	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios
S.S.E.E. (grasas y aceites)	mg/l	Res. 389/98 ADA / Ley N° 26.221 ERAS	≤100	85	Promedio: Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios.
Coliformes Fecales (f)	NMP/100 ml	Res. 389/98 ADA	≤20.000	100000	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios
D.B.O.	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤200	221	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios; Berto et al. (2009); Majumder et al. (2021).
D.Q.O.	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤700	785	Promedio: Carraro et al. (2016) 20 estudios; Pariente et al. (2022) 76 estudios; Verlicchi et al. (2015) 48 estudios; Parida et al. (2021) 50 estudios; Berto et al. (2009)
S.A.A.M. (Sustancias Activas al Azul de Metileno)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤10	0,8	Pariente et al. (2022)
Sulfatos	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤1000	950	Pariente et al. (2022)
Hierro (soluble)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤10	4,8	Pariente et al. (2022)
Manganeso (soluble)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤1,0	0,055	Pariente et al. (2022)
Cinc	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤5,0	4,5	Pariente et al. (2022)
Níquel	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤3,0	0,67	Pariente et al. (2022)

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMATIVA	LÍMITE DE DISEÑO	EFLUENTE	REFERENCIA
Cromo Total	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤2,0	0,63	Pariente et al. (2022)
Cadmio	mg/l	Ley N° 26.221 ERAS	0,1	0,07	Pariente et al. (2022)
Mercurio	mg/l	Ley N° 26.221 ERAS	0,005	0,004	Pariente et al. (2022)
Cobre	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤2,0	1,8	Pariente et al. (2022)
Arsénico	mg/l	Res. 389/98 ADA / Ley N° 26.221 ERAS	≤0,5	0,012	Pariente et al. (2022)
Cobalto	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤2,0	0,026	Pariente et al. (2022)
Selenio	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤0,1	0,05	Pariente et al. (2022)
Plomo	mg/l	Ley N° 26.221 ERAS	0,5	0,052	Pariente et al. (2022)
Nitrógeno Total (d)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤105	100	Pariente et al. (2022)
Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤75	70	Pariente et al. (2022)
Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤30	17	Estimación a partir de los máximos datos para las distintas formas de N
Fósforo total (d)	mg/l	Res. 389/98 ADA	≤10	7	Hocaglu et al. (2021)
AOX (Halogenuros orgánicos adsorbibles)	mg Cl/l	Waters Protection Ordinance (WPO) de la FOEN de Suiza para fuentes de agua potable	10	8,3	Hocaglu et al. (2021)

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMATIVA	LÍMITE DE DISEÑO	EFLUENTE	REFERENCIA
Ciprofloxacina	mg/l	DWEL (Schwab et al., 2005)	0,06	0,382	Magdaleno et al.
Paracetamol	mg/l	Acute Non-Cancer Health Risk Limit de la Health Based Guidance for Water de Minnesota Department of Health (2015)	0,2	1,4	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Diclofenac	mg/l	Estándar de calidad ambiental de la Comisión Europea (2021) - Annual Average Quality Standard (para agua dulce)	0,004	0,015	Máximo Ajala et al.; Pariente et al.; Parida et al. (2021)
Atenolol	mg/l	DWEL (Schwab et al., 2005)	0,1	5,49	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Carbamazepina	mg/l	Estándar de calidad ambiental de la Comisión Europea (2021) - Annual Average Quality Standard (para agua dulce)	0,025	0,03	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
Iopromida	mg/l	No Existe	-	2,5	Máximo Ajala et al. (2022); Pariente et al. (2022)
SARS-CoV-2	Copias genómicas/L	No Existe	–	500–18700	Pariente et al. (2022)

Capítulo V – Memoria descriptiva y alternativas de diseño del tratamiento de efluentes líquidos

En este capítulo se describen las etapas propuestas para el pretratamiento y el tratamiento primario del efluente, con los cuales se busca remover los sólidos gruesos, homogeneizar el efluente, ecualizar el caudal e impulsar el líquido y remover sólidos finos y partículas coloidales.

Posteriormente, se discute la implementación de alternativas biológicas y de oxidación avanzada, con sus correspondientes ventajas y desventajas, así como también la factibilidad de escalar cada uno de esos procesos y su eficiencia esperada. El objetivo de esta etapa del proceso es la remoción de los compuestos recalcitrantes y la desinfección.

El pretratamiento y el tratamiento primario es igual para todas las alternativas por lo que el debate se centró en los tratamientos secundario y terciario.

Ejes centrales para el diseño del proceso de tratamiento

En primera instancia, se definieron cuatro ejes centrales a abordar que guían el diseño del tratamiento:

- Alta concentración de Sólidos Suspendidos Totales (Majumder et al., 2021a; Verlicchi et al., 2010b).
- Bajo índice de biodegradabilidad debido a la presencia de compuestos tóxicos y no biodegradables (Carraro et al., 2016; Majumder et al., 2021a; Verlicchi et al., 2010b).
- Presencia de compuestos recalcitrantes entre los que se destacan fármacos y contrastes de rayos X (Krzeminski et al., 2019; Parida et al., 2022).
- Presencia de microorganismos patógenos de preocupación sanitaria, entre ellos, bacterias resistentes a antibióticos (ARB), genes resistentes a antibióticos (ARG) y virus como SARS-CoV-2 (Krzeminski et al., 2019; Majumder et al., 2021; Parida et al., 2022).

Para la selección de los procesos unitarios que conformarán el tren de tratamiento se realizó un exhaustivo relevamiento de los antecedentes en relación al diseño de plantas de tratamiento de efluentes hospitalarios, así como también el potencial de tecnologías emergentes y procesos no convencionales actualmente en estudio.

Se detalla a continuación el análisis efectuado y los motivos que sustentan la elección de una tecnología u otra para ser implementada con base en diferentes criterios.

Se trabajará en un régimen continuo para evitar paradas que pudieran afectar o dificultar el proceso de tratamiento o dañar los equipos.

Eje central a abordar: Remoción de sólidos

Pretratamiento

Desbaste

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Metcalf & Eddy, 2014).

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Metcalf & Eddy, 2014).

Tal como indica el Manual Técnico del Agua (Degremont, 1979), es necesario someter a las aguas brutas a un pretratamiento para separar del efluente la mayor cantidad posible de materias que, por su naturaleza o tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores.

Debe tenerse en consideración que el líquido debe ser elevado para ingresar a la planta de tratamiento ya que es transportado inicialmente por una cañería cloacal.

Se propuso un desbaste con rejas finas a la entrada de la cámara ecualizadora. Esta etapa permitirá proteger a la estación de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación, y separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos (Degremont, 1979).

Homogeneización de caudales y mezclado

La homogeneización consiste, simplemente, en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Por otro lado, el mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento

de aguas residuales, entre las que podemos citar: mezcla completa de una sustancia con otra; mezcla de suspensiones líquidas; mezcla de líquidos miscibles; floculación, y transferencia de calor (Metcalf & Eddy, 2014).

Remoción de sólidos medios y finos

El paso siguiente se trata de la implementación de un tamiz de manera de poder remover sólidos aún más finos para mejorar la eficiencia de tratamientos posteriores. Los tamices más utilizados para plantas de tratamiento pequeñas son los estáticos y los rotativos. Los estáticos tienen como ventaja que no consumen energía eléctrica, pero requieren una superficie considerable que aumenta con el caudal a tratar, además de presentar niveles de eficiencia de remoción de sólidos y DBO menores al rotativo, y la necesidad de realizar su limpieza una o dos veces al día con agua caliente a alta presión, vapor o removedor de grasa (Metcalf & Eddy, 2014).

Dadas las ventajas presentadas por el tamiz rotativo en cuanto a mejor calidad de efluente y menor demanda de mantenimiento, lo cual se traduce en mayores costos asociados, se descartó la opción del tamiz estático.

Eje central a abordar: Remoción de sólidos; Remoción de compuestos recalcitrantes; Remoción de patógenos de relevancia sanitaria

Tratamiento primario

Coagulación-Floculación y Flotación

Para la remoción de sólidos suspendidos no sedimentables o partículas coloidales, se optó por una coagulación-floculación. La coagulación consiste en introducir en el líquido un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides y de formar un precipitado. Este producto es conocido como coagulante (Degremont, 1979).

El coagulante introducido da lugar a la formación del floc, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión. Para esto se adiciona un ayudante de coagulación, mejor conocido como floculante (Degremont, 1979).

La coagulación-floculación permite, a su vez, remover alrededor del 20% de la concentración de fármacos (antibióticos, antidepresivos, analgésicos/antiinflamatorios y reguladores lipídicos) y entre el 20-40% de medios de contraste para rayos X (Verlicchi et al., 2015).

Posteriormente a la coagulación y floculación, se puede llevar a cabo una sedimentación o una flotación. El objeto de la primera es conseguir la deposición de los sólidos sedimentables (y aquellos que en un principio no eran sedimentables pero que gracias a la formación de los flocs adquirieron el peso suficiente para serlo). Por otra parte, la flotación es una operación unitaria donde la separación de los sólidos del líquido se alcanza introduciendo burbujas finas de aire a la fase líquida. Las burbujas adheridas al material particulado y la fuerza de flotación combinada de la partícula y las burbujas, es suficientemente grande como para causar que las partículas asciendan a la superficie. Las partículas que tienen una mayor densidad que el líquido incluso pueden hacerse ascender y aquellas con una menor densidad ascienden con mayor facilidad (Metcalf & Eddy, 2014).

Las principales ventajas de la flotación por sobre la sedimentación son que las partículas más pequeñas o livianas que sedimentan lentamente pueden ser removidas en un mayor porcentaje y en un tiempo más corto. Una vez que las partículas flotaron a la superficie pueden ser colectadas por un barredor (Metcalf & Eddy, 2014).

Con la flotación, Metcalf & Eddy (2014) informa que es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80 al 90% de la materia total suspendida, entre el 40 y el 70% de la DB05, del 30 al 60% de la DQO y entre el 80 y el 90% de las bacterias. Estas cifras contrastan con los rendimientos de eliminación de los procesos de sedimentación simple en los que la eliminación de la materia suspendida solo alcanza valores del 50 al 70% y en la eliminación de la materia orgánica solo se consigue entre el 30 y el 40%.

Se decidió, entonces, implementar una unidad de flotación por aire disuelto (DAF). El mismo contará con un tanque de presurización y un tanque de flotación; se recirculará una porción del líquido tratado para mezclar con el aire y ser ingresado al tanque de flotación junto con la línea principal a tratar.

Eje central a abordar: Remoción de Compuestos Recalcitrantes (Fármacos)

Tratamientos secundarios

El efluente hospitalario contiene una gran variedad de fármacos y sus metabolitos, siendo los analgésicos y los antibióticos los más prevalentes, característicos por una alta biotoxicidad (Majumder A., 2021). Posee una biodegradabilidad mucho menor comparada a las aguas residuales urbanas debido, en parte, a que la concentración de analgésicos, antibióticos, beta-bloqueantes, hormonas, etcétera, es mucho mayor (Majumder A., 2021).

El índice de biodegradabilidad promedio mundialmente se encuentra entre 0,29-0,34 (Majumder A., 2021).

Se evaluó la incorporación de dos métodos biológicos: lodos activos y bio-reactores de membrana. La técnica de lodos activos fue analizada debido al amplio conocimiento e implementación de la misma en plantas de tratamiento, así como también por los bajos costos asociados a la construcción y operación. Los bio-reactores de membrana fueron evaluados dado el creciente interés por esta tecnología a nivel mundial en la remoción de contaminantes de preocupación emergente. Se discuten en este apartado las eficiencias de cada uno en relación a los compuestos de interés y sus desventajas, así como también la conveniencia o no de su implementación.

Lodos activos

El proceso de lodos activos (Activated Sludge Process, ASP) o fangos activados consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (lodos activos) en un depósito agitado y aireado, alimentado por el efluente a depurar (Degremont, 1979). La configuración más clásica consiste en una secuencia de reactores anaeróbico-anóxico-aeróbico seguidos por un sedimentador secundario, aunque son aceptables distintas configuraciones (Pariente et al., 2022).

Después de un período de aireación suficiente, los sólidos floculentos del lodo activado se separan del agua residual en un clarificador secundario. El agua residual clarificada fluye hacia adelante para un tratamiento posterior o descarga. Una porción del lodo del flujo inferior del clarificador se devuelve al tanque de aireación para mezclarlo con el influente tratado primariamente del tanque y el lodo restante se desecha a la sección de manejo de lodos de la planta de tratamiento (Guyer P., 2013).

La implementación del método de lodos activos en el tratamiento de efluentes hospitalarios se realiza con la intención de reducir contaminantes orgánicos, sólidos suspendidos y coloides (Khan et al., 2019). Las eficiencias reportadas por los distintos autores son ampliamente variables, dadas las condiciones en que se efectúa el proceso y las diferencias en parámetros como el tiempo de retención hidráulica adoptado en cada caso.

Krzeminski (2019) dice que, aunque en ciertos casos se pueda observar una remoción considerable de fármacos, las concentraciones residuales son significativas y tienen el potencial de impactar negativamente en los cuerpos receptores. A partir de estudios realizados en dieciocho plantas de tratamiento con lodos activos en Canadá, también

referenciados por Krzeminski, pudieron observar que en varios casos se obtuvo una remoción negativa lo cual indica una formación a compuestos originales que estarían en el efluente como metabolitos. Además, la calidad del efluente puede empeorarse por la formación de productos intermedios en caso de biodegradación parcial. Majumder (2021), por su parte, informa los resultados de diversos autores tales como Kosma et al., que obtuvieron una remoción negativa de Diclofenac (lo mismo se obtuvo para varios fármacos), mientras que Mousaab et al. lograron remover un 30% de este compuesto. Yuan et al. (al igual que Krzeminski et al.) observó que la carbamazepina es resistente a la degradación por este método debido a su estructura compleja. En Krzeminski et al. se comenta el caso de Jones et al. que encontraron que la remoción de 95 fármacos logró entre 14-58% de eficiencia, siendo un grupo en particular significativamente recalcitrante al proceso, como por ejemplo la carbamazepina (1%). Además, en muestras tomadas de efluentes tratados por plantas cloacales con tratamientos biológicos, la carbamazepina y la ciprofloxacina mostraron una frecuencia de detección del 90%, mientras que el diclofenac arrojó un 89% (Krzeminski et al., 2019).

Bio-reactores de membrana (MBR)

Estos sistemas tienen la ventaja de combinar un reactor biológico de crecimiento suspendido con la eliminación de sólidos mediante filtración. Las membranas pueden diseñarse y operarse en espacios pequeños y con una alta eficiencia de eliminación de contaminantes como nitrógeno, fósforo, bacterias, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales. El sistema de filtración por membrana puede reemplazar efectivamente al clarificador secundario y los filtros de arena en un sistema típico de tratamiento de lodos activados. La microfiltración permite mantener una mayor concentración de biomasa, permitiendo así el uso de biorreactores más pequeños (US EPA, 2007).

Las ventajas de los sistemas MBR sobre los sistemas biológicos convencionales incluyen una mejor calidad del efluente, menores requerimientos de espacio y facilidad de automatización. Específicamente, los MBR operan a mayores tasas de carga volumétrica, lo que resulta en tiempos de retención hidráulica más bajos. Los tiempos de retención bajos se traducen en un menor espacio requerido en comparación con un sistema convencional. Los MBR a menudo se han operado con tiempos de residencia de sólidos (SRT) más largos, lo que resulta en una menor producción de lodos; sin embargo, esto no es un requisito y se han utilizado SRT más convencionales (Crawford et al. 2000 en US EPA, 2007). El efluente

de los MBR contiene bajas concentraciones de bacterias, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y fósforo.

La principal desventaja de los sistemas MBR es que suelen tener costos de capital y operación más altos que los sistemas convencionales para el mismo rendimiento. Los costos de operación y mantenimiento incluyen la limpieza de membranas, el control de incrustaciones y el eventual reemplazo de membranas. Los costos de energía también son más altos debido a la necesidad de purgado con aire para controlar el crecimiento bacteriano en las membranas. Además, los lodos residuales de dicho sistema pueden tener una baja tasa de sedimentación, lo que requiere de productos químicos para producir biosólidos aceptables para su disposición (Hermanowicz et al. 2006 en US EPA, 2007). Fleischer et al. 2005 demostraron que los lodos residuales de los MBR se pueden procesar utilizando tecnologías estándar utilizadas para procesos de lodos activados.

En cuanto a su eficiencia de remoción de fármacos, Prasertkulsak (2019) logró una buena remoción del ibuprofeno pero una escasa remoción para la carbamazepina y el diclofenac. En otro estudio, Majumder (2021) informa que la implementación de un MBR logró una remoción del 34% de los fármacos. Si bien los porcentajes de remoción de parámetros convencionales son altos, se observa en los distintos estudios que es necesario acoplar esta unidad con procesos avanzados si se busca una eficiencia considerable en cuanto a compuestos farmacéuticos. Krzeminski (2019) informa que cuando se compara la eficiencia de lodos activos con MBR bajo las mismas condiciones, no se aprecian diferencias considerables en la eficiencia de remoción; sin embargo, en aquellos casos en los que se ha notado una mejora, los autores lo atribuyen principalmente a la gran capacidad de retención de partículas coloidales y sólidos que tiene el MBR. Las mejoras en cuanto a la eficiencia de biodegradación se atribuyen a los mayores tiempos de residencia de los lodos que hacen que se puedan desarrollar colonias con organismos más complejos. A pesar de esto, estas ventajas tienen como contracara que los costos operativos asociados con los grandes requerimientos de oxígeno para la biomasa. Usualmente, los MBR son utilizados como pretratamientos de procesos avanzados (Khan et al., 2019).

Discusión sobre la implementación de un tratamiento biológico

El autor Krzeminski (2019) dice que, a pesar de la gran atención que se le ha dado en los últimos años, no se ha llegado a un consenso general en cuanto al potencial de remoción de contaminantes de preocupación emergente de los lodos activos y los MBR. Asimismo,

los diferentes autores informan porcentajes de remoción significativamente variables y muy bajos para los compuestos de interés de este proyecto.

Lodos activos es el tratamiento biológico más investigado para la remoción de CECs (contaminantes de preocupación emergente, por sus siglas en inglés), sin embargo, la configuración tradicional (proceso aeróbico) no es efectiva (Krzeminski et al., 2019). Los MBR están siendo intensamente investigados, pero aún no se cuenta con suficiente conocimiento sobre su mecanismo e influencia en la remoción de CECs (Krzeminski et al., 2019). Por su parte, Rizzo (2019) sostiene que los tratamientos biológicos convencionales no son efectivos en la remoción de CECs.

El proyecto PILLS (2012) informa la experiencia de cuatro plantas de tratamiento de efluentes hospitalarios, para las cuales los expertos resaltan que la implementación de una etapa biológica (en esos casos, MBR) solamente estuvo destinada a la remoción de la nutrientes como el nitrógeno y los fosfatos, así como a algunas sustancias orgánicas biodegradables, dado que estas plantas harían un vuelco directo en el cuerpo receptor y debían bajarse considerablemente las concentraciones de esos parámetros convencionales. Los MBR fueron incorporados, además, para reducir la concentración de sólidos suspendidos, es decir, como tratamiento físico.

Otro aspecto menester a considerar es la respuesta de los tratamientos biológicos frente a la alimentación con un efluente cargado con fármacos y microorganismos y ARN resistentes, todos ellos considerados contaminantes de preocupación emergente. Krzeminski (2019) destaca los vacíos de conocimiento concernientes al efecto de los tratamientos secundarios en el fenómeno de resistencia antibacteriana y plantea la hipótesis y discusión de por qué las plantas de tratamiento que implementan tratamientos biológicos son un reservorio de ARBs y ARGs, originada por los argumentos dados por los autores Berendonk (2015) y Manaia (2016).

En primer lugar, los genes resistentes codifican para diferentes tipos de mecanismos de defensa que, solos o en combinación con otros determinantes genéticos, aumentarían la capacidad de las bacterias de sobrevivir en condiciones adversas (Yomoda et al., 2003; Kim et al., 2014 en Krzeminski et al., 2019). Los sistemas de tratamiento secundario tienen el potencial de ofrecer condiciones ideales para que las bacterias dispersen sus genes, en particular ARGs y, debido a esto, pueden asociarse con la diseminación de la resistencia antibiótica (Rizzo et al., 2013; Bouki et al., 2013 en Krzeminski et al., 2019). Se cree que la

vasta concentración de nutrientes y las interacciones entre células, ayudadas por la presencia de residuos de antibióticos y, eventualmente, otros selectores, incrementarían las chances de supervivencia o incluso proliferación de bacterias resistentes a antibióticos (Berendonk et al., 2015; Bengtsson-Palme and Larsson, 2016 en Krzeminski et al., 2019).

Krzeminski (2019) concluye que las plantas que implementan tratamientos biológicos poseen una limitada capacidad en la reducción de la resistencia antibiótica hasta niveles despreciables, siendo necesario un paso posterior de desinfección.

Verlicchi (2015) advierte que, en relación con este efluente, debe prestarse especial atención para evaluar el potencial efecto de inhibición de las actividades biológicas de los CECs que ocurren en mayor concentración que en los efluentes domiciliarios y, por ende, en el riesgo de que estos puedan afectar negativamente el proceso de degradación. El efluente hospitalario puede inhibir la actividad de la biomasa en un tanque de aeración en, por lo menos, un 7-8% según lo documentado por Verlicchi con base en los resultados de Boillot et al. (2008) y Panouilleres et al. (2007).

Con base en lo expuesto anteriormente en relación a la baja o nula eficiencia para la remoción de fármacos y la posibilidad de ser un reservorio de microorganismos resistentes, además de no ser necesario en este proyecto una reducción significativa de DBO (ya de por sí baja), nitrógeno y fosfatos que demande procesos de biodegradación, se decidió que no es necesario la incorporación de un tratamiento secundario y que, por el contrario, este podría resultar contraproducente.

Tratamientos avanzados

Los expertos del proyecto PILLS encontraron que la eliminación de los residuos farmacéuticos solo es posible con tecnologías avanzadas. Esto también es sostenido por autores como Rizzo (2019) y Krzeminski (2019), quienes dicen que los tratamientos secundarios y terciarios convencionales (como lodos activos o filtración y desinfección, respectivamente) no son efectivos en la remoción de la mayoría de los CECs contenidos en el efluente hospitalario y en el cloacal. Para este fin, se encuentran en investigación tratamientos terciarios ya consolidados, como la ozonización y la filtración por membranas, y otros que no han sido implementados intensivamente, tales como procesos de oxidación avanzada (Rizzo et al., 2019). Los procesos de oxidación se emplean usualmente para el tratamiento exitoso de compuestos tóxicos y recalcitrantes debido a la incrementada

producción de radicales hidroxilos que logran romper los enlaces de carbono (Ajala et al., 2022; Mishra et al., 2023).

A continuación, se discute la implementación de ozonización y reacciones Fenton como etapas principales de remoción de fármacos.

Ozonización

El ozono es un oxidante utilizado ampliamente para la desinfección de agua potable pero también para el “pulido” de efluentes, y puede reaccionar directamente con las sustancias orgánicas disueltas o puede formar oxidantes secundarios como radicales hidroxilos (PILLS Project, 2012) los cuales tienen la capacidad de oxidar a los contaminantes. Los radicales hidroxilos, contrariamente al ozono, se caracterizan por una baja selectividad y una rápida reacción con una amplia variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos, lo cual es beneficioso para el abatimiento de los CECs refractarios al ataque del ozono (Rizzo et al., 2019).

Su implementación está constantemente en crecimiento dado las normativas de vuelco cada vez más exigentes (Chiang et al., 2003; Xu et al., 2002 en Pariente et al., 2022). Sin embargo, este tratamiento también es utilizado como tratamiento in situ para la remoción de fármacos que suponen una preocupación ambiental y sanitaria, y para evitar la diseminación de bacterias resistentes a antibióticos y genes resistentes a antibióticos (Paraskeva y Graham, 2002; Rosal et al., 2010; Alexander et al., 2016; Czekalski et al., 2016 en Pariente et al., 2022).

La dosis de ozono necesarias para abatir los microcontaminantes depende ampliamente del carbono orgánico disuelto (DOC por sus siglas en inglés) del influente (Antoniou et al., 2013; Lee y von Gunten, 2016; Bourgin et al., 2018 en Pistocchi et al., 2022). El ozono presenta altas eficiencias en cuanto a la remoción de fármacos de entre 90-99% (Pariente et al., 2022; PILLS Project, 2012) con dosis de entre 2-5 mg/L para efluentes con concentraciones de compuestos orgánicos menores a 8 mg DOC/L, y 5-10 mg/L para más de 23 mg/DOC/L (PILLS Project, 2012).

Pariente (2022) informa que el trabajo con esas dosis de ozono da como resultado remociones mayores a 93% para antibióticos, entre ellos ciprofloxacina, alcanzando concentraciones por debajo de la concentración predicha de no-efecto (PNEC por sus siglas en inglés), y una remoción casi total del atenolol. Además, se logra remover más del 80% de la carbamazepina y se informan remociones por arriba de 94% para el diclofenac (Rizzo

et al., 2019). Todos estos compuestos antes mencionados comprenden sustancias que reaccionan predominantemente con ozono (Rizzo et al., 2019).

Este tratamiento no decrece la DQO dado que no elimina (mineraliza) la materia orgánica y los contaminantes sino más bien los transforma en compuestos más degradables que también son medidos en términos de DQO (Verlicchi et al., 2015).

Verlicchi (2015) sostiene que es interesante destacar que la ozonización parece ser un tratamiento muy prometedor para el abatimiento de la mayoría de la carga contaminante de los efluentes hospitalarios. También resalta una de las lecciones aprendidas a partir del proyecto PILLS: con base en una investigación suiza sobre los principales 100 fármacos administrados en un hospital de gran capacidad (McArdell et al., 2011), la remoción lograda para todos los fármacos y metabolitos fue de 90%. Esta eficiencia se reduce al 50% si dentro de ese grupo se consideran los medios de contraste para rayos X. Los medios de contraste son considerados compuestos recalcitrantes al ozono ya que se obtienen rendimientos menores al 50% (Pariente et al., 2019; Rizzo et al., 2019).

El ozono también es implementado para inactivar ARBs y ARGs, donde los radicales hidroxilos se encargan de la oxidación de estos últimos y han mostrado eficiencias prometedoras (Majumder et al., 2021). El ozono es un desinfectante eficaz que inactiva una amplia gama de microorganismos patógenos, incluyendo bacterias, virus y parásitos. Se considera que la eficacia desinfectante del ozono es superior a la de los desinfectantes a base de cloro (Manasfi, T., 2021).

Una configuración típica para el proceso de ozonización incluye el equipamiento para la generación in situ del O_3 , un reactor donde el O_3 entra en contacto con el influente y una unidad de destrucción de ozono para tratar el gas excedente. La fuente para la generación de ozono puede ser oxígeno puro o aire, y el proceso más comúnmente utilizado en las plantas de tratamiento de efluentes es la descarga eléctrica (Metcalf & Eddy, 2014 en Pistocchi et al., 2022). Cuando se utiliza aire, la generación de ozono requiere 1,5 a 2 veces más energía que si se usa oxígeno puro. Sin embargo, este último requiere ser preparado en otra facilidad industrial y transportado como gas licuado, por lo tanto, el impacto de ambas fuentes es considerablemente comparable y la elección entre las dos depende de factores prácticos tales como la disponibilidad de espacio, el tamaño de la planta, los requerimientos de seguridad en el sitio, etc. (Abegglen y Siegrist, 2012 en Pistocchi et al., 2022).

Pistocchi et al. (2022) referencia los resultados de Bertanza et al. (2018) quien, para una dosis de ozono de 8g/m^3 , reportó un consumo de energía (con todos los equipos incluidos) de $0,05\text{-}0,08\text{ kWh/m}^3$ de efluente tratado.

Desventajas

Las dosis de ozono aplicadas a los tratamientos de efluentes resultarán en la formación de subproductos y productos de oxidación, los cuales pueden ser tóxicos, ya que no se consigue la mineralización. Sin embargo, las investigaciones revelaron una reducida toxicidad de los efluentes luego de la ozonización (Ternes and Joss, 2006 en PILLS Project, 2012).

Los dos subproductos de oxidación importantes que deberían ser analizados son los bromatos y la dimetilnitrosamina (NDMA por sus siglas en inglés). La concentración máxima recomendada de esta última por la OMS en el agua potable es de 100 ng/L (Schindler Wildhaber et al., 2015 en Rizzo et al., 2019). Los bromatos, por su parte, resultan de un proceso de formación lento que puede ser controlada ajustando la dosis de ozono (Rizzo et al., 2019). En la investigación suiza, la concentración de bromuros en el efluente tratado fue de $30\text{-}40\text{ mg/L}$ y, luego de la adición de la dosis más alta de ozono ($7\text{ mg O}_3\text{/L}$), la concentración de bromatos fue de 1 ug/L , muy por debajo del estándar suizo para agua potable de 10 ug/L .

Reacciones Fenton

Para acelerar la descomposición del peróxido de hidrógeno y obtener radicales se puede utilizar un catalizador férrico. Las reacciones oxidativas de Fe^{+2} o Fe^{+3} y peróxido de hidrógeno son conocidas como reacciones Fenton (PILLS Project, 2012). Cuando el peróxido y el catalizador son usados en combinación con luz UV, la reacción se denomina foto-Fenton (Chen, 1997 en PILLS Project, 2012).

De entre los procesos avanzados de oxidación, los sistemas basados en Fenton han sido ampliamente investigados para la remoción de compuestos orgánicos recalcitrantes en efluentes. Las principales ventajas de este proceso son: (i) buena relación costo-eficiencia, (ii) reactivos ambientalmente amigables y (iii) equipamiento sencillo (Pariente et al., 2022). Se obtiene una remoción eficiente y relativamente rápida de las drogas, pero esta viene acompañada de grados bajos de mineralización, por lo cual, debe prestarse atención a los subproductos de oxidación (Pariente et al., 2022).

El proceso Fenton puede aplicarse como post-tratamiento o como un tratamiento unitario si el efluente se vuelca a la red cloacal (Pariente et al., 2022).

El tratamiento foto-Fenton se basa en la ruptura catalítica del peróxido de hidrógeno en reacción con hierro en un medio ácido ($\text{pH}=2,8$) para formar especies transitorias activas en presencia de UV-vis o luz solar. Esta versión de la clásica reacción Fenton adhirió ventajas como una mayor remoción de fármacos y la posibilidad de aprovechar la luz solar como fuente de energía (Rizzo et al., 2019; Pariente et al., 2022).

De la Cruz (2013) obtuvo una eficiencia de remoción para el diclofenac utilizando foto-Fenton de 93-100%, mientras que a partir de cuatro investigaciones con foto-Fenton solar se obtuvo 80-100% (Rizzo et al., 2022). Para la carbamazepina, los resultados para foto-Fenton solar de varios autores analizados por Rizzo (2022) fue de 24-100%, y para Arzate (2017) de 86-96%. Para foto-Fenton, De la Cruz (2013) obtuvo un 66-94% de remoción.

Desventajas

La principal desventaja asociada es la relativa a la factibilidad de escalar este tratamiento a una planta real ya que no se cuenta con bibliografía de experiencias a escala real y la existente es, casi en su totalidad, utilizando matrices sintéticas simples lo que no permite extrapolar a un escenario más complejo (Pignatello et al., 2006 en Pariente et al., 2022; Ajala et al., 2022). Esto pone en cuestionamiento la eficiencia que tendría este proceso de aplicarlo un tratamiento a escala real y en un efluente complejo como el hospitalario.

Otra de las desventajas asociadas a las reacciones Fenton es que el rango de pH óptimo para una buena eficiencia de proceso es muy baja y angosta, de entre 2-4 (PILLS Project, 2012). Para trabajar a pH neutro es necesario la adición de un agente quelante (Rizzo et al., 2019).

Si bien el equipamiento no es costoso, los montos económicos se incrementan al considerar la disposición de los lodos, el alto costo del peróxido de hidrógeno, el costo energético en caso de foto-Fenton con lámparas y el uso de catalizadores (Khan et al., 2019). Kajitvichyanuku y Suntronvipart (2006) reportaron costos de operación y mantenimiento de aproximadamente 0,38 €/m³ (corregido a valores de 2014 por Verlicchi et al., 2015).

En caso de la implementación de foto-Fenton solar, se necesita un amplio espacio adicional para la colocación de colectores solares (Rizzo et al., 2019).

Discusión

Se presenta a continuación una tabla comparativa de los dos métodos propuestos donde se analizan diversos aspectos que deben ser considerados a la hora de diseñar un tratamiento. Cabe aclarar que el espacio ocupado no es un limitante, por lo tanto, no ha influido al momento de seleccionar una alternativa.

Tabla XI: Comparación de alternativas para el eje central de remoción de fármacos.

CRITERIO	OZONIZACIÓN	REACCIONES FENTON
EFICIENCIA DE REMOCIÓN FÁRMACOS	90-99%	80-99% según matriz
EFICIENCIA DE REMOCIÓN MEDIOS DE CONTRASTE	BAJA	BAJA
DESINFECCIÓN	SI	SI
ESCALABILIDAD	ALTA	BAJA
COSTOS DE INVERSIÓN	ALTA	REGULAR/ALTA
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	0,25 €/m ³	0,2 - 0,38 €/m ³
EXPERIENCIAS REPORTADAS DE CASOS REALES EXITOSOS	NUMEROSAS	LIMITADAS
GENERACIÓN DE METABOLITOS TÓXICOS	DESPRECIABLE	NO REPORTADO
AJUSTE DE PH PARA REACCIÓN	NO	MEDIO ÁCIDO
EQUIPOS ADICIONALES	DESTRUCTOR DE OZONO	NO

Tanto la ozonización como las reacciones Fenton poseen una eficiencia de remoción considerablemente alta, sin embargo, las últimas son resultado de experimentos en matrices simples por lo que no son necesariamente extrapolables al caso real.

Dado que ninguno de los procesos logra la mineralización de los compuestos, se espera una concentración de subproductos de oxidación con cierto grado de toxicidad. Sin embargo, las mediciones que se han reportado en bibliografía informan que, dentro de ciertos rangos de concentración de reactivos, los subproductos generados se encuentran muy por debajo de los límites admisibles y recomendados por normativa internacional y organismos de referencia en el tema. En este sentido, los dos métodos son similares.

Ambos tratamientos son ineficientes para la remoción de medios de contraste para rayos X, pero sí son capaces de lograr altos grados de desinfección comparados con métodos basados en cloro. Ninguno de ellos deja un poder residual en el efluente.

Rizzo et al. (2019) comparó los costos del foto-Fenton solar con la ozonización en la remoción de 66 CECs de efluentes cloacales en plantas piloto, evaluándolos con base en el consumo de reactivos, mano de obra, electricidad y costos de inversión para un diseño

de flujo de 5000 m³/día y una eficiencia de remoción de entre 90-98% (Prieto-Rodriguez et al., 2013^a en Rizzo et al., 2019). Los principales costos en el tratamiento solar se incrementan por la inversión en colectores solares, ya que el estudio del uso de la luz solar directa está aún en sus primeras etapas. Los costos de tratamiento fueron estimados en 0,188 €/m³ y 0,358 €/m³ para una eficiencia de 90-98% por foto-Fenton solar y 0,450€/m³ y 0,560€/m³ para la ozonización utilizando una dosis de 9,5 g O₃/m³. Sin embargo, hoy en día, la ozonización para esta aplicación a escalas reales presenta costos sustancialmente más bajos, cercanos a 0,25 €/m³ para 9,5 g O₃/m³ (Rizzo et al., 2019). La conclusión general a la que llega Rizzo et al. (2019) es que el foto-Fenton solar podría ser competitivo con la ozonización bajo ciertas condiciones límite y luego de un mayor desarrollo técnico y, por lo tanto, una opción para explorar al menos en los países soleados.

La principal desventaja de las reacciones Fenton frente a la ozonización es la factibilidad de escalar el proceso a una planta de tratamiento real con un efluente complejo como lo es el hospitalario. Por este motivo, si bien el Fenton es significativamente prometedor y una de las tecnologías más investigadas en la actualidad, el riesgo a asumir es considerablemente alto ya que no se cuenta con registro de casos exitosos. Esto podría resultar en el diseño de una planta que no cumpla con los objetivos propuestos.

Por los motivos antes expuestos, se decidió optar por la ozonización como principal tratamiento para la remoción de fármacos, además de aprovechar su poder de desinfección.

Eje central a abordar: Remoción de Compuestos Recalcitrantes (Medios de Contraste para Rayos X)

Radiación UV

Se ha observado que esta tecnología es la única en la actualidad que puede eliminar efectivamente contrastes iodados (PILLS Project, 2012; Verlicchi et al., 2015). Verlicchi (2015) resalta, en base a la compilación de numerosas investigaciones, que los procesos con UV parecen ser los tratamientos más efectivos para remover medios de contrastes para rayos X, obteniendo remociones de 90% para iomeprol y 92% para iopromida, iopamidol y ácido ioxitalámico con una lámpara de baja presión (LP por sus siglas en inglés) y 7200 J/m². El mecanismo de remoción sería la fototransformación directa con UV, a diferencia de con los fármacos donde el UV solo sería responsable por la formación de radicales que finalmente degradarían los compuestos.

A partir del relevamiento realizado por Verlicchi (2015), se observó que, para los compuestos farmacéuticos investigados, las eficiencias de remoción siempre fueron menores a 50% cuando la fluencia es de 800 J/m². A fluencias de 2400 J/m², 12 de 31 compuestos farmacológicos son removidos más de un 50% y con 7200 J/m², 18 de 31 compuestos excedieron la barrera de 50% de eficiencia. Si bien las eficiencias no son comparables con métodos como ozonización o Fenton, no debe descartarse el aumento en la eficiencia total al combinarlo con estos tratamientos.

La transmisión de la radiación UV en el agua está estrictamente correlacionada con la turbidez del agua. Es recomendado una muy baja turbidez de manera de reducir considerablemente el potencial de interferencias con la matriz acuosa. Los excesivos dosajes de oxidantes químicos (en caso de utilizarse) pueden secuestrar la luz UV inhibiendo la eficiencia de destrucción de los contaminantes (Verlicchi et al., 2015).

Eje central a abordar: Remoción de Patógenos de relevancia sanitaria

La elección del método de desinfección adecuado para el tratamiento de efluentes hospitalarios es crucial para proteger la salud pública y el ambiente. En este contexto, la radiación UV y la cloración son dos alternativas comúnmente consideradas, y se discute a continuación cual resulta de mayor conveniencia para este proyecto.

Radiación UV

Según los estudios compilados por Verlicchi (2015), la mayor eficiencia de desinfección observada fue para la combinación de UV/TiO₂/O₃. La desinfección se debe al daño a la pared celular de los microorganismos y a la membrana citoplasmática aumentando la permeabilidad celular permitiendo que el contenido intracelular fluya a través de la membrana, conduciendo a su muerte.

En cuanto a UV, la fluencia a aplicar dependerá de los límites requeridos para los microorganismos (Verlicchi et al., 2011). Por ejemplo, se debe aplicar 100 J/m² para garantizar 1000 NMP/100 mL de coliformes totales, 750-850 J/m² si se debe garantizar 23 NMP/100 mL y una fluencia final mayor a 1000 J/m² si la concentración residual de coliformes totales debe ser menor a 2,2 NMP/100 mL (Crites y Tchobanoglous, 1998 en Verlicchi et al., 2015).

Zhang et al. (2015) estudiaron la inactivación de ARG por UV y encontraron que radiaciones de 249,5 mJ/cm² son necesarias para la inactivación de ARGs (Majumder et al., 2021).

Cloración

La predesinfección del efluente hospitalario crudo es aún un tema de gran inquietud: con base en una hipótesis teórica, Korzeniewska et al. (2013) recomienda una desinfección preliminar del efluente hospitalario previa a su vuelco en la red cloacal para minimizar la dispersión de bacterias resistentes a antibióticos. En contraposición, investigaciones de Emmanuel et al. (2004) encontraron que la desinfección del efluente de departamentos de enfermedades infecciosas y tropicales utilizando NaOCl puede reducir el contenido de microorganismos, pero, al mismo tiempo, tiene efectos tóxicos en los organismos del cuerpo receptor (Verlicchi et al., 2015).

A pesar del hecho que la desinfección con cloro tiene un amplio espectro de actividad contra bacterias, virus y hongos y es simple de usar, puede producir subproductos tóxicos, su performance depende de la calidad del agua y para virus que tienen una gran tolerancia al cloro solo se consigue una baja eliminación. Como consecuencia, se suele aplicar una concentración excesiva de desinfectante para garantizar la desinfección, pero se dan a la vez, inevitablemente, altas concentraciones de cloro residual (tanto como 100-130 mg/L) resultando en serios problemas de contaminación al medio acuático (Verlicchi et al., 2015).

Una investigación detallada en tiempo real llevada a cabo por Yuan et al. (2015) reveló que la cloración por si sola no puede remover efectivamente ARGs (Majumder et al., 2021).

Discusión

Se presenta a continuación una tabla comparativa de los dos métodos propuestos donde se analizan diversos aspectos que deben ser considerados a la hora de diseñar un tratamiento. El objetivo principal es la desinfección, sin embargo, se evaluó el uso de un método para abordar más de un eje central como, por ejemplo, la remoción de medios de contrastes de rayos X.

Tabla XII: Comparación de alternativas para el eje central de remoción de patógenos.

CRITERIO	CLORACIÓN	UV
EFICIENCIA DE REMOCIÓN FÁRMACOS	BAJA	BAJA
EFICIENCIA DE REMOCIÓN MEDIOS DE CONTRASTE	NULA	90-92%
PODER DE DESINFECCIÓN	REGULAR	ALTA
ESCALABILIDAD	ALTA	ALTA
COSTOS DE INVERSIÓN	BAJO	BAJO/REGULAR
CONSUMO DE ENERGÍA	BAJO	REGULAR/ALTO
COSTOS DE REACTIVOS	REGULAR/ALTA	BAJA
EXPERIENCIAS REPORTADAS DE CASOS REALES EXITOSOS	NUMEROSAS	NUMEROSAS
GENERACIÓN DE METABOLITOS TÓXICOS	ALTA	NO REPORTADO
EFFECTO RESIDUAL EN CUERPO DE AGUA RECEPTOR	SI	NO

La radiación UV actúa a nivel molecular, dañando directamente el ADN y ARN de los microorganismos, lo que resulta en su inactivación y muerte. Por su parte, si bien la cloración tiene un amplio espectro de actividad contra microorganismos, su eficacia se ve afectada por la calidad del agua y presenta limitaciones en la eliminación de virus.

La radiación UV no genera subproductos tóxicos ni residuos químicos, minimizando su impacto ambiental. Además, no afecta el pH del agua. La cloración puede producir subproductos tóxicos como trihalometanos y cloraminas, los cuales representan un riesgo para la salud humana y el ambiente. Además, el cloro residual en el efluente tratado puede generar problemas de contaminación acuática.

Según el análisis presentado, se seleccionó la radiación UV como la tecnología de desinfección preferible para el tratamiento de efluentes hospitalarios. Su alta eficacia contra una amplia gama de patógenos, su seguridad ambiental y la ausencia de subproductos tóxicos la convierten en la mejor alternativa, además de ser el único método comprobado para remover considerablemente medios de contraste. Finalmente, la combinación de radiación UV con ozonización previa maximiza la eliminación de patógenos ya que, cuando se aplica ozonización a efluentes hospitalarios para remover compuestos recalcitrantes, al mismo tiempo este es desinfectado en un alto grado (Verlicchi et al., 2015).

Cámara de toma de muestra y medición de caudal

El diseño de la cámara de toma de muestra y medición de caudal se realizará siguiendo los lineamientos de la Resolución 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable 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 de esa norma. Se contará con al menos dos cámaras: una al inicio del tratamiento y otra previa al vuelco a colectora.

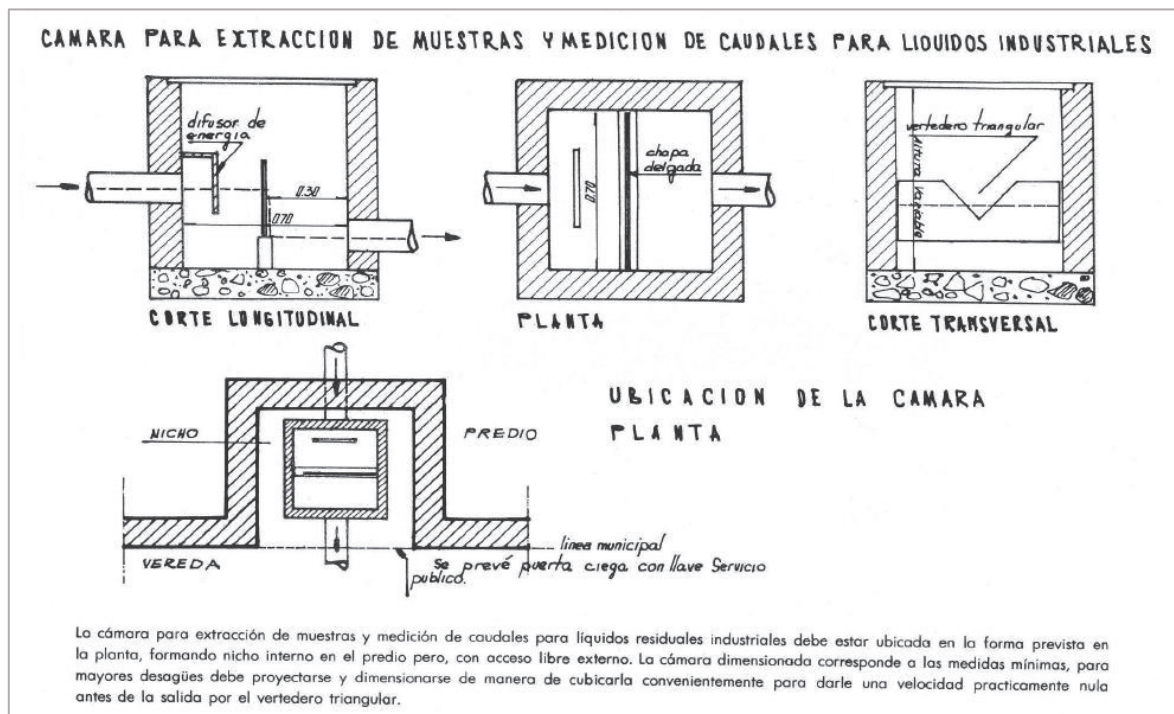


Figura 9: Esquema de la cámara toma de muestra y medición de caudales. Fuente: Anexo Resolución 607/12.

Tren de tratamiento seleccionado

El tren de tratamiento seleccionado consta de un pretratamiento, un tratamiento primario y dos tratamientos terciarios. Se ilustra en la figura 4 cada una de las etapas, así como también una escala de grado de remoción del contaminante target en cada operación unitaria del proceso. A mayor color, mayor su remoción. Es pertinente notar que los métodos seleccionados contribuyen a dos o más ejes centrales para el diseño, complementándose entre sí para una mayor eficiencia final.

Esto puede observarse en la tabla XI donde se resumen las eficiencias esperadas para cada etapa del tratamiento en relación a los diversos contaminantes de interés. En algunos casos, como por ejemplo la remoción de sólidos suspendidos totales por ozonización, se espera un valor positivo, pero no se especifica un porcentaje dado que diferentes autores informan eficiencias distintas debido a las matrices con las que se trabajó. Asimismo, no se

atribuyó un porcentaje a la desinfección ya que cada patógeno tendrá una remoción distinta según las condiciones en que se realice el tratamiento, pero, según lo informado en la vasta bibliografía, el efluente tratado a partir de estos métodos cumple con los límites recomendados por las legislaciones mundiales y recomendaciones de la OMS.

Tal como destaca Verlicchi (2015), es importante observar que, la elección de las mejores tecnologías para el tratamiento del efluente hospitalario no debe conducir necesariamente a la remoción completa de compuestos parientes específicos, sino a la remoción de la actividad estrogénica del propio efluente o, más generalmente, a la reducción de sus efectos ecotoxicológicos.

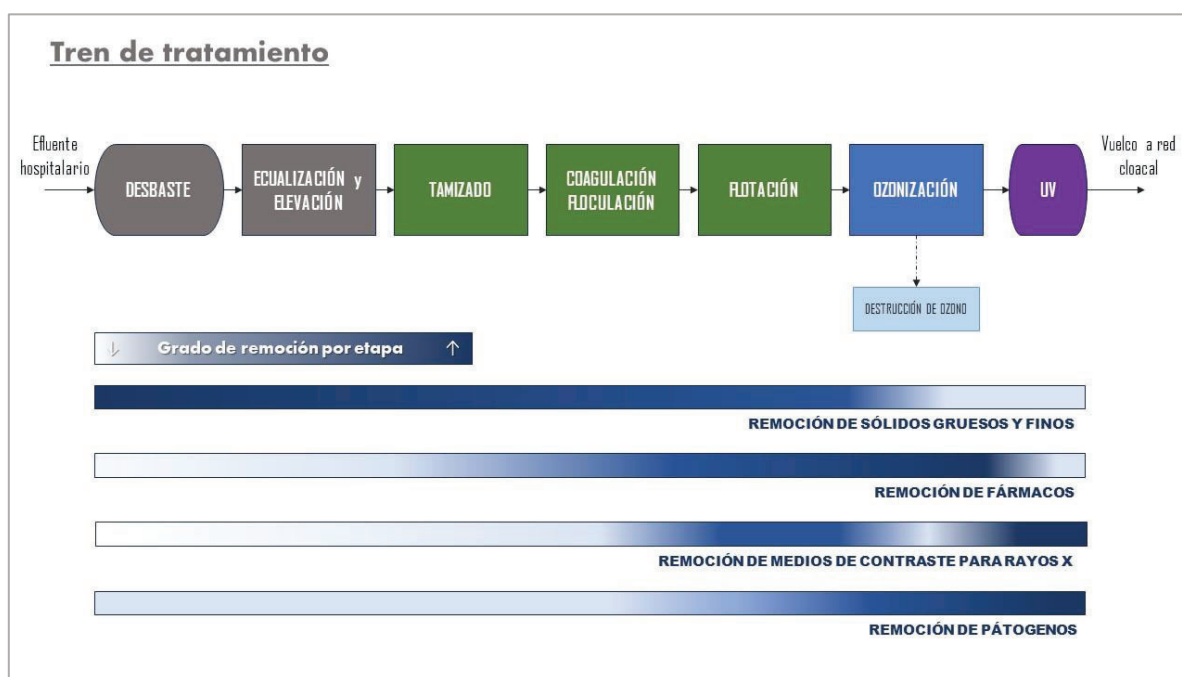


Figura 10: Diagrama de proceso del tren de tratamiento seleccionado con detalle de grado de remoción por etapa. Las secciones oscuras indican en qué etapa del tratamiento se obtiene una mayor remoción del contaminante de interés. Fuente: Elaboración propia.

Tabla XIII: Eficiencias de remoción esperadas para SST, DQO, fármacos, medios de contraste y patógenos. Las celdas en gris denotan que no se cuenta con suficiente información como para proporcionar un porcentaje de remoción. Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO/ETAPA	REJAS FINAS	TAMIZADO	COAGULACIÓN FLOCULACIÓN FLOTACIÓN	OZONIZACIÓN	UV	%remoción total esperada
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SI	30%	>85%	SI. Variable según los autores		>85%
DQO	SI	40%	40%			64,0%
FÁRMACOS	SI		20%	95%	60%	98,4%
MEDIOS DE CONTRASTE	SI		35%	50%	90%	96,8%
PATÓGENOS	SI		SI	SI	SI	VIRUS, ARB, ARG, BACTERIAS

Dado que no es posible asegurar un porcentaje de remoción exacto para cada tipo de fármaco, se buscará que la carga contaminante del conjunto de fármacos cumpla con la concentración total propuesta según las normativas internacionales. Es decir, se buscará que la concentración total de los fármacos sea reducida hasta (al menos) 0,4 mg/L. Este criterio es utilizado por diversos autores, quienes analizan la totalidad de un tipo de contaminantes en lugar de distinguir individualmente.

Con los porcentajes de remoción esperados para el tren de tratamiento seleccionado se cumple con los valores guía propuestos para los contaminantes de preocupación emergente, y el efluente se volcará dentro de los parámetros de la ley.

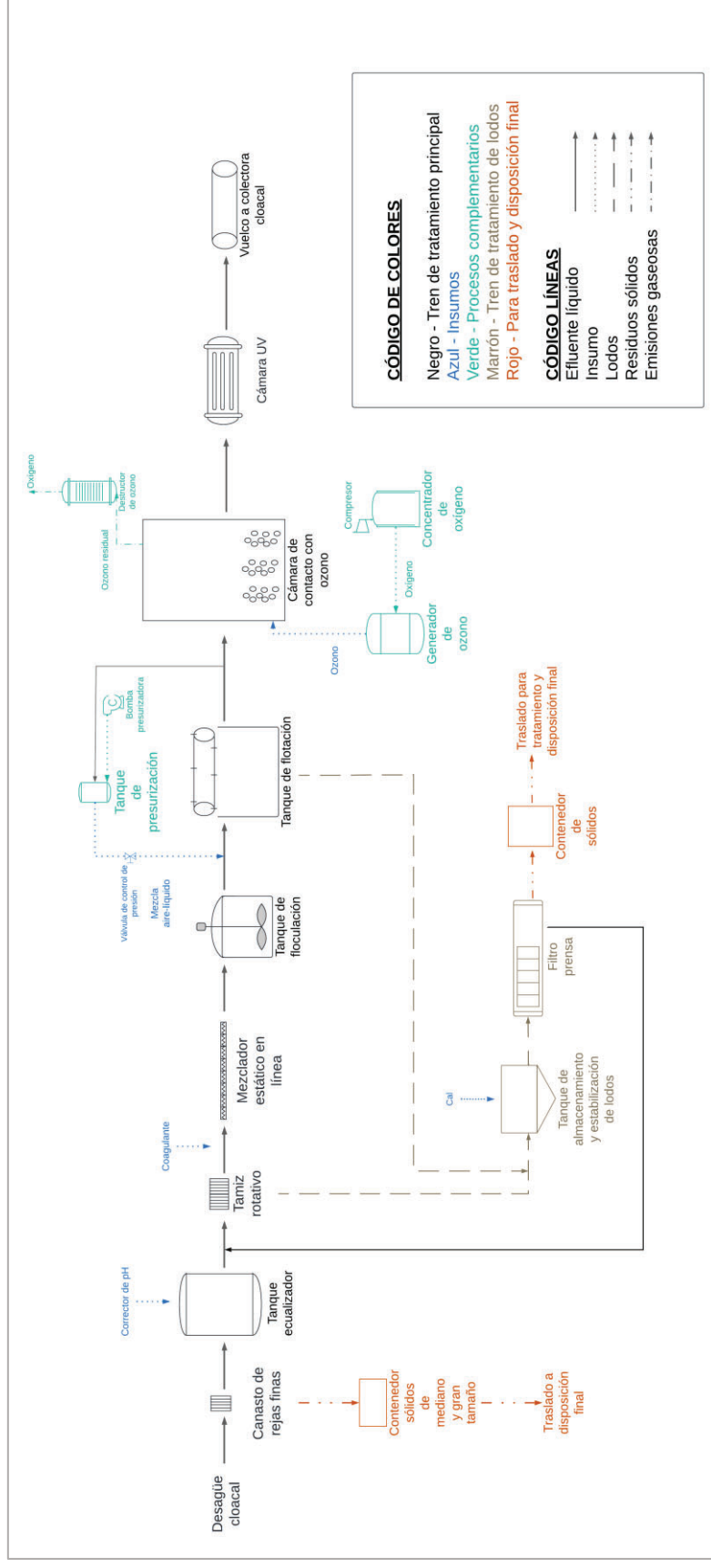


Figura 11: Diagrama del proceso de tratamiento seleccionado con detalle del tren principales, los insumos, procesos complementarios, tratamiento de lodos y disposición final de residuos. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VI – Memoria de cálculo del sistema de tratamiento de efluentes

En el presente apartado se detallan los razonamientos y cálculos efectuados para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento, junto con los datos relevados en campo y en bibliografía que sustentan los resultados.

Estudio de los caudales

Verlicchi (2010) observó que no hay una correlación clara entre el consumo específico del hospital (expresado como L/cama/día) y el tamaño del hospital (es decir, el número de camas), como se muestra en los datos reportados en la figura 5, que se refiere a hospitales en diferentes países alrededor del mundo.

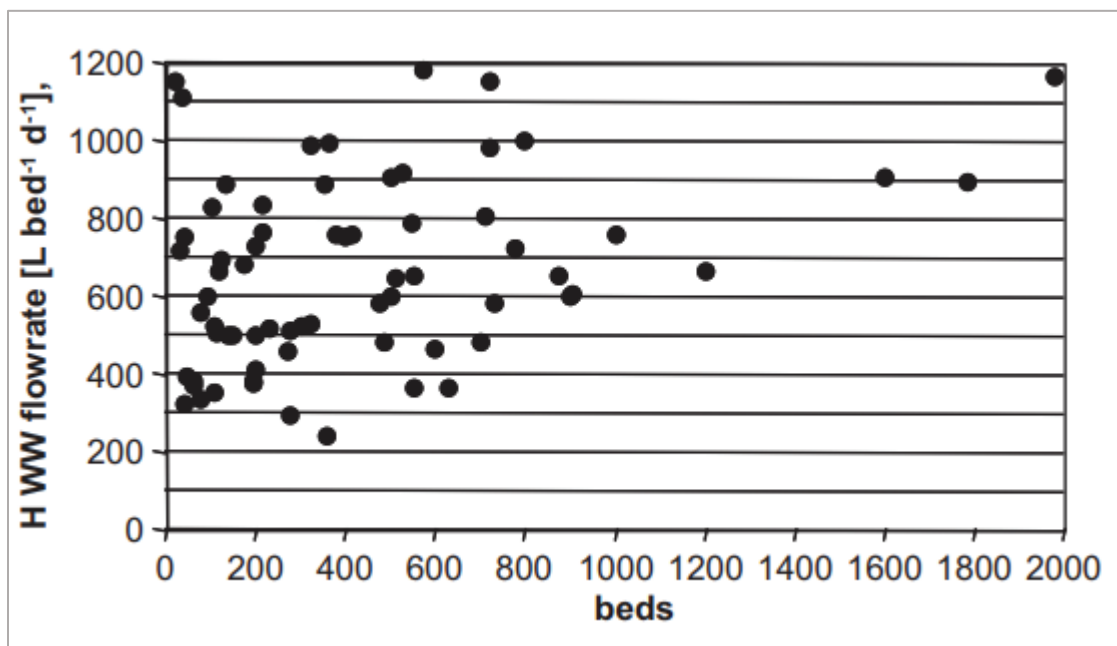


Figura 12: Consumo diario de agua por cama en relación con el tamaño del hospital. Fuente: Verlicchi et al., 2010.

Según un estudio realizado por Magdaleno y colaboradores, único en Argentina sobre esta temática, el Hospital-escuela de Clínicas José de San Martín genera 1200 L de efluente/cama/día lo cual podría estimarse que corresponde a un consumo diario de agua por cama de 1500 L/día, considerando que un 80% se dispone como efluente líquido (porcentaje promedio aceptado por Agua y Saneamientos Argentinos). Esta cantidad generada condice con los valores máximos informados por la OMS para hospitales

universitarios (500 - >900 L/cama/día). Si bien Argentina no es un país desarrollado, a los cuales se les atribuyen los valores más altos de generación de efluente, su cercanía al Río de La Plata y el acceso al acuífero Puelche permite abastecer una demanda de consumo de agua considerablemente alta respecto a países industrializados que no cuentan con estas condiciones. Por lo tanto, no es de extrañar que la cantidad de efluente generada por los establecimientos hospitalarios de la provincia de Buenos Aires sea presumiblemente alta. El valor correspondiente al Hospital-escuela San Martín se utilizó como límite superior del valor que puede adoptar el caudal diario por cama del Hospital Evita Pueblo en estudio, dado que los hospitales escuela son el tipo de establecimiento que generan más residuos líquidos.

Es pertinente aclarar que, si bien el consumo de agua se realiza en las distintas instalaciones del hospital y con diversos fines, el consumo se suele informar referido a la cantidad de camas que posee el establecimiento. Es decir, es un número ficticio que divide el consumo total por la cantidad de camas, y no se corresponde con la realidad a lo consumido por cada paciente en las camas disponibles. Esto es utilizado por los investigadores en la temática para poder comparar datos entre hospitales.

Según lo relevado, se estima que la bomba que alimenta el tanque cisterna del nosocomio se enciende aproximadamente ocho (8) veces al día. Esto se traduce en un consumo de agua del establecimiento de 200.000 L/día aproximadamente (por la capacidad útil del tanque de 25.000 L) lo que, referido a la cantidad de camas operativas actualmente (210) equivale a:

$$(1) \quad Q_{cama} = \frac{200.000 \frac{L}{día}}{210 \text{ cama}} * 0,8_{efluente \text{ cloacal}} = 761,9 \frac{L_{efluente \text{ cloacal}}}{cama * día}$$

Este valor se encuentra dentro de los caudales promedio informados por la OMS para hospitales de gran tamaño (400-700 L/cama/día).

Sin embargo, para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes, se debe estimar la generación que tendría el hospital funcionando a su máxima capacidad, la cual es de 250 camas.

Luego, para la capacidad total de diseño (250 camas), el caudal medio estimado es de:

$$(2) \quad Q_{medio} \left(\frac{m^3}{s} \right) = 761,9 \frac{L_{efluente \text{ cloacal}}}{cama * día} * 250 \text{ camas} * \frac{m^3}{1000 L_{efluente \text{ cloacal}}} = 190,5 \frac{m^3}{día}$$

Para calcular los caudales mínimo y máximo se contempló que el consumo de agua varía durante el día con respecto a la tasa de flujo promedio diaria, aumentando hasta un 20% entre las 8 a. m. y las 4 p. m. y disminuyendo hasta un 30% entre la 1 a. m. y las 8 a. m. Además, se observan diferencias a lo largo del año, con valores promedio más altos durante los meses más cálidos (Joss et al., 2005; Mohee, 2005; Boillot et al., 2008; Verlicchi et al., 2008 en Verlicchi et al., 2010). Los coeficientes de pico para las tasas de flujo hospitalario son bastante similares a los generalmente asumidos para el influente de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales (menos de 10,000 equivalentes de población, e.p.) (Mersi et al., 1993; De Fraja Frangipane y Pastorelli, 1997 en Verlicchi et al., 2010).

Tabla XIV: Coeficientes de pico para las tasas de flujo de los efluentes cloacales hospitalarios y urbanos. Adaptado de Verlicchi et al. (2010).

COEFICIENTES DE DISEÑO		
Coeficiente pico	Efluente cloacal hospitalario	Efluente cloacal urbano
Mensual	1,5-1,8	1,2-2,0
Diario	2,0-2,8	2-5,0
Horario	3,5-4,0	3,0-4,0

Se modeló la variación del flujo de caudal durante 24 horas para un día estándar en primavera y un día estándar en verano, dada la mayor demanda de agua en esa época del año.

El caudal estimado a partir del número de encendidos de la bomba del hospital se registró en el mes de octubre (primavera) por lo que ese valor ($Q=190,48 \text{ m}^3/\text{día}$) será considerado como el caudal diario promedio sobre el que se calcularán los caudales horarios y las respectivas fluctuaciones.

Hidrograma

Se elaboró un hidrograma a partir de las variaciones horarias de caudal informadas en bibliografía, utilizando el dato real de caudal, bajo la suposición de que el día de medición es representativo de un día promedio. Esta suposición se sustenta del análisis de temperaturas medias mensuales de los últimos cinco años en la Ciudad de Buenos Aires según la Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la Ciudad. En él se observa que octubre es un mes de temperaturas medias por lo que se decidió considerarlo

como un mes de comportamiento estándar, sin fluctuaciones por las estaciones del año (principal razón de variabilidad de caudales según bibliografía).

Tabla XV: Temperaturas medias promedio de los últimos cinco años (Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la Ciudad, 2023).

Mes	Promedio
	Media
Enero	25,5
Febrero	24,0
Marzo	22,9
Abril	18,9
Mayo	14,9
Junio	12,4
Julio	11,8
Agosto	13,3
Septiembre	15,3
Octubre	18,0
Noviembre	22,1
Diciembre	24,3

Para realizar la distribución horaria de caudales se decidió partir de un valor promedio suponiendo que la generación de efluente es constante durante las 24 horas ($Q_{prom}=7,94$ m³/h). Sin embargo, el caudal fluctúa presentando valores mínimos durante la 1 am y las 8 am y valores máximos durante las 8 am y las 4 pm, por lo que se aplicó el factor correspondiente a cada franja horaria máxima y mínima de manera de contemplar estas variaciones (0,7 y 1,2, respectivamente). Luego, se iteró el valor del caudal promedio para encontrar los valores que, cumpliendo las condiciones de fluctuación, totalizaran 190,5 m³/día.

$$(3) \quad Q_{estandar} (1\text{ am}-8\text{ am}) = Coef.mín.horario * Q'_{medio}$$

$$(4) \quad Q_{estandar} (8\text{ am}-16\text{ pm}) = Coef.máx.horario * Q'_{medio}$$

Donde

- Coef. Mín. horario: coeficiente mínimo horario según Verlicchi (2010)
- Coef. Máx. horario: coeficiente máximo horario según Verlicchi (2010)
- Q' medio: Caudal promedio horario corregido por iteración

De esta manera, se obtuvo un hidrograma para un día promedio o estándar que contempla los picos máximos y mínimos horarios. A partir del mismo, y los picos mínimo y máximo diarios informados en bibliografía, se elaboró un hidrograma para un día promedio de verano y uno de invierno, de modo de estimar el comportamiento del influente en los períodos de mayor y menor generación.

Para el día de verano se multiplicaron todos los caudales horarios del día estándar por el coeficiente máximo diario informado por Verlicchi (se tomó el promedio resultando en c.m.d.=2,4) de modo de contemplar no solo las variaciones entre las distintas horas del día sino también las variaciones entre los distintos días del año respecto al promedio, siendo el verano el caso extremo.

$$(5) \quad Q_{\text{verano}} = \text{Coef. máx. diario} * Q_{\text{estándar}}$$

De igual modo, se elaboró el hidrograma para un día de invierno multiplicando cada caudal horario por el correspondiente coeficiente mínimo diario (c.m.d=0,6). Este último dato se tomó de los “Criterios de Diseño” del ENOHSA para una población servida de 300 a 3.000 habitantes.

Tabla XVI: Coeficientes para caudales volcados a colectoras. B1 corresponde al coeficiente mínimo diario. (Criterios de Diseño para Desagües Cloacales ENOHSA).

Población servida	α_1	α_2	α	β_1	β_2	β
500 h ≤ P _s ≤ 3.000 h	1,40	1,90	2,66	0,60	0,50	0,30
3.000 h < P _s ≤ 15.000 h	1,40	1,70	2,38	0,70	0,50	0,35
15.000 h < P _s ≤ 30.000 h	1,30	1,50	1,95	0,70	0,60	0,42

La elección de este dato se basó, en primer lugar, por la falta de información sobre caudales mínimos en la bibliografía del tema. Por lo que se consideró que no sería errado utilizar parámetros del diseño de sistemas cloacales ya que a fin de cuentas se trata de las descargas cloacales del establecimiento. Además, Verlicchi (2010) informó que “los coeficientes pico para las tasas de flujo en hospitales son bastante similares a los generalmente asumidos para el influente de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales (población equivalente <10,000)”.

$$(6) \quad Q_{\text{invierno}} = \text{Coef. mín. diario} * Q_{\text{estándar}}$$

En resumen, los valores adoptados para los diversos parámetros fueron:

Tabla XVII: Valores adoptados para los parámetros relativos a los caudales de diseño.

Capacidad útil TK cisterna (L)	25.000,00
N° encendido de bomba / día	8
Demanda de agua diaria (L)	200.000,00
Demanda de agua diaria (m ³)	200,00
N° camas operativas	210,00
N° camas diseño	250,00
Coeficiente de vuelco	0,80
Q medio diario camas operativas (m ³ /día)	160,00
Q medio / cama (m ³ /cama/día)	0,76
Q medio / cama (m ³ /cama/hora)	0,03
Q medio diario camas diseño (m ³ /día)	190,55
Q medio horario (m ³ /hora)	7,94
Coeficiente máximo diario	2,40
Coeficiente mínimo diario	0,60
Coeficiente mínimo horario (1-8 am)	0,70
Coeficiente máximo horario (8 am-16 pm)	1,20

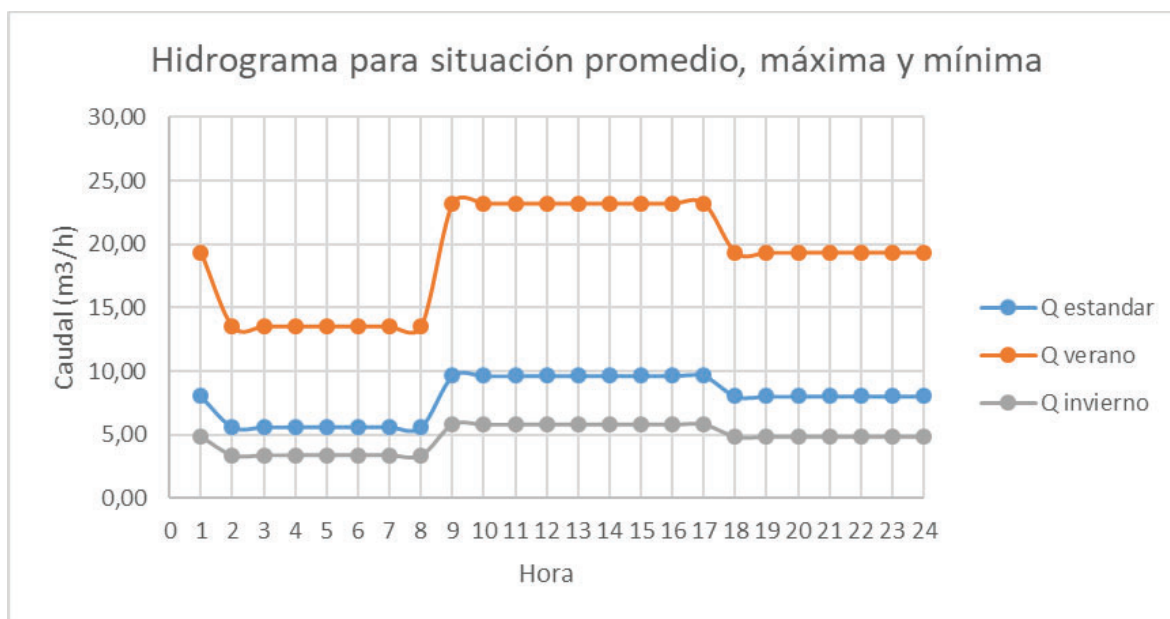


Figura 13: Hidrograma para un día promedio, un día de verano y uno de invierno.

En el Anexo se muestra la tabla detallada de caudales para un día promedio, uno en verano y otro en invierno.

A partir del cálculo de caudales máximos y mínimos se determinaron los caudales para cada mes del año donde octubre es una situación promedio, julio corresponde al mes de mínima generación y enero al mes de máxima generación. Cabe aclarar que, si bien enero sería el mes de mayor generación por un mayor consumo de agua, esta suposición se hizo con base en el registro de temperaturas. Dado que enero es un mes de vacaciones, puede ser que menor cantidad de personas acudan al hospital y que, por ende, la generación sea menor. Se trata del caso extremo con la mayor cantidad de gente presente expuesta a la mayor temperatura anual.

Tabla XVIII: Caudales mínimo, medio y máximo de diseño.

	JULIO	OCTUBRE	ENERO
Q medio horario (m3/h)	4,76	7,94	19,05
Q medio diario (m3/d)	114,33	190,55	457,32

Proceso de tratamiento

Desbaste: Diseño del canasto

Para la remoción de sólidos gruesos se propuso la instalación de un canasto. Se optó por este método dado que, si se quería colocar un sistema de rejillas, el canal de transporte no era factible desde el aspecto constructivo ya que, para verificar la velocidad mínima de aproximación, el ancho del canal debía ser menor a los 15 cm. E incluso adoptando este ancho, no era posible alcanzar la velocidad mínima requerida de aproximación del líquido para el mínimo caudal. Esto haría que el operario deba estar continuamente manteniendo el canal para evitar la deposición de los sólidos.

El canasto se colocará en la acometida de la cloaca del hospital al tanque de ecualización. Será capaz de almacenar los residuos generados durante el día de máximo caudal y su descarga se realizará por izaje a través de unos rieles que en su tramo superior final se curvarán para que el canasto pueda inclinarse y descargar fácilmente sobre un contenedor dispuesto para tal fin.

Durante la descarga, se colocará una reja plana de similares características al fondo del canasto para evitar el pasaje de sólidos. Una vez en su lugar el canasto, la reja plana será retirada de la boca de la cañería.

Cálculo de las dimensiones

Según bibliografía, para un paso de 25 mm entre rejillas, la cantidad de residuos sólidos contenidos en el líquido cloacal puede variar de 3,5 a 80 m³/10⁶ m³ de agua residual tratada, con un promedio de 20 m³/10⁶ m³. Además, los residuos presentan una humedad de aproximadamente 50-80% y una densidad de 960 kg/m³. Se deben disponer rápida y adecuadamente, de lo contrario se generarán malos olores y atraerán insectos.

Tabla XIX: Datos sobre generación de residuos en efluentes cloacales según diversos autores.

RESIDUOS BIBLIOGRAFÍA	
Cantidad (m ³ /10 ⁶ m ³ efluente)	20,00
Densidad (kg/m ³)	960,00

Las dimensiones del canasto se definieron en base a la cantidad diaria máxima de residuo esperado, brindando una capacidad suficiente para acumular los sólidos de un día completo.

Se calculó el volumen de residuos generados para caudal mínimo, medio y máximo, horario y diario. Se utilizó como criterio de diseño el volumen máximo diario de residuo generado de manera que la limpieza del canasto pueda realizarse cada 24 hs en caso de ser necesario. Sin embargo, se espera que en la etapa operativa la descarga del mismo se ejecute con la frecuencia necesaria para que los desechos no generen olores.

Tabla XX: Volumen y peso de residuos generados según el caudal.

Parámetro	CAUDALES	RESIDUOS GENERADOS	
		m ³	kg
Máximo horario	23,16	0,0005	0,44
Medio horario	9,65	0,0002	0,19
Mínimo horario	3,38	0,0001	0,06
Máximo diario	457,32	0,0091	8,78
Medio diario	190,55	0,0038	3,66
Mínimo diario	114,33	0,0023	2,20

El volumen útil del canasto, es decir, el espacio que efectivamente estará destinado al almacenamiento de residuos, se estableció como el volumen máximo diario de residuos más un extra del 20%:

$$(7) \quad V_{\text{útil canasto}} = V_{\text{máx diario}} * 1,2 = 0,0091 \text{ m}^3 * 1,2 = 0,01 \text{ m}^3$$

Además:

$$(8) \quad V_{\text{útil canasto}} = \text{ancho} * \text{profundidad} * h_{\text{útil}}$$

donde $h_{\text{útil}}$ hace referencia a la altura útil del canasto que se podrá completar con residuos con seguridad de que estos no alcanzarán el nivel del invertido del caño de entrada. A su vez, al volumen útil se le agregó un 20% extra de capacidad por seguridad.

El ancho del canasto (0,4 m) se determinó en base al caño cloacal que acomete a la siguiente unidad de tratamiento, el cual se estimó es de 160 mm utilizando el software HCANALES para el máximo caudal, una velocidad mínima de 0,3 m/s, una relación tirante/diámetro del 85% y una pendiente mínima del 3%.

Con el volumen útil y el ancho del canal se calculó la altura útil:

$$(9) \quad h_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{útil canasto}} + \text{Revancha } 20\%}{\text{ancho} * \text{profundidad}} = \frac{0,01 \text{ m}^3 * 1,2}{0,4 \text{ m} * 0,3 \text{ m}} = 0,1 \text{ m}$$

Por último, se calculó la altura total del canasto como la suma de la altura útil, una altura de revancha y el diámetro de la acometida.

$$(10) \quad H_{\text{total canasto}} = h_{\text{útil}} + \text{revancha} + d_{\text{cañería}} = (0,2 \text{ m} + 0,24 \text{ m} + 0,16 \text{ m}) = 0,5 \text{ m}$$

A continuación, se presentan las medidas del canasto y las características de las rejillas:

Tabla XXI: Dimensiones del canasto diseñado.

DIMENSIONES CANASTO	
	m
Ancho	0,4
Alto útil (h)	0,1
Profundidad	0,3
Alto total (H)	0,5
	m ³
Volumen útil (+20%)	0,01

Tabla XXII: Características de las rejas del volumen útil del canasto.

REJAS	
	mm
Tipo de reja	Circular
Ancho de reja	5,0
Separación entre rejas	25

Ecualización

Diseño del tanque ecualizador y pozo de bombeo

La primera unidad luego del desbaste es el tanque ecualizador, el cual también funcionará como pozo de bombeo para la elevación del líquido residual a tratar.

Para su diseño se utilizaron los criterios de “Diseño y dimensionamiento de un pozo de bombeo” de la empresa Flygt de Xylem donde se establece un volumen activo mínimo. La determinación del volumen mínimo es necesaria en aquellos casos en los que se tenga un colector de entrada que vierta un caudal variable a una cámara de bombeo o pozo, como es este caso en estudio.

Tal como explica el proveedor en su manual, el volumen mínimo de un pozo garantizará que las bombas no arranquen demasiado frecuentemente, lo que origina un rápido deterioro por el continuo sobrecalentamiento de sus bobinados y será, por tanto, crucial para asegurar la fiabilidad de la instalación. Dicho volumen mínimo, dependerá principalmente de la potencia, la capacidad y el número de bombas instaladas.

Las dimensiones definitivas adoptadas son aquellas que hacen la obra civil más económica y que garantizan tanto el volumen mínimo, como las separaciones y distancias mínimas entre los distintos elementos que lo constituyen (bombas, paredes, fondo, cámara tranquilizadora).

Ecualización de los caudales

Si bien el caudal que ingresa a la planta es variable, es necesario compensar los distintos caudales de ingreso y salida dado que este último deberá fijarse para que el tratamiento se realice en un régimen continuo. Esta compensación de caudales se llevará a cabo automáticamente por una bomba sumergible dentro del pozo. La misma erogará un caudal fijo cuando el volumen acumulado en el tanque alcance el nivel de arranque previamente estipulado y finalizará al llegar al nivel de paro.

Se entiende por volumen activo el comprendido entre el nivel de arranque de las bombas hasta su nivel de paro; y por tiempo ciclo el tiempo que transcurre entre su puesta en marcha y su parada. Este tiempo es el que quedará limitado en función del máximo número de arranques por hora permitidos y, por tanto, es el que determinará el volumen mínimo del pozo de bombeo (Flygt, 2004).

El mínimo tiempo ciclo posible quedará definido a partir del número de arranques permitidos para la bomba:

$$(11) \quad T_{cmin} = \frac{3600 \text{ s}}{M}$$

El valor M (número de arranques) para las bombas pequeñas suele estar alrededor de los 15 arranques/hora. Flygt informa dos valores de números de arranques recomendados: un criterio conservador con 10 arranques y un criterio ajustado con 18 arranques para bombas de 0,5 a 7,5 kW de potencia. El criterio conservador es válido cuando se desee garantizar la fiabilidad del sistema al tiempo que se minimizan el desgaste y el mantenimiento de las bombas. El criterio ajustado, es posible cuando se desee minimizar el volumen de los pozos y, por tanto, el coste en la obra civil de los mismos, aún en detrimento de la durabilidad de los equipos.

Para el tanque de compensación/pozo de bombeo en cuestión se decidió utilizar un criterio conservador de 5 arranques por hora ya que se trata de caudales pequeños. No se adoptaron los 10 arranques informados en la bibliografía ya que se trata de valores límite

para el criterio conservador, no de una restricción. Con un bajo número de arranques se prioriza la fiabilidad del sistema y la durabilidad de las bombas, pero también se optimizó el tamaño del tanque de manera que pudieran respetarse las distancias mínimas entre los elementos.

$$(12) \quad T_{cmin} = \frac{3600 \frac{s}{h}}{\frac{5}{h}} = 720 \text{ s}$$

El arreglo de bombas adoptado es de 1+1, es decir, una operativa y una en reserva, que se irán alternando entre ciclos para no sobre exigir a uno de los equipos.

Cálculo del volumen activo mínimo en pozos con una bomba

Para hallar el volumen activo óptimo para el tiempo de ciclo mínimo adoptado, se definen los siguientes términos:

$$(13) \quad \text{Fase de llenado: } T_{LL} = \frac{V}{Q_{in}}$$

$$(14) \quad \text{Fase de vaciado: } T_V = \frac{V}{Q_p - Q_{in}}$$

$$(15) \quad \text{Tiempo de ciclo: } T_c(Q_{in}) = T_{LL} + T_V = V \left(\frac{1}{Q_{in}} + \frac{1}{Q_p - Q_{in}} \right)$$

Donde Q_{in} es el caudal de ingreso al tanque, Q_p es el caudal erogado por la bomba y V es el volumen activo.

Para hallar el tiempo de ciclo mínimo se derivó esta función respecto al caudal de ingreso que es el parámetro que definirá constructivamente el pozo, y se igualó a cero.

$$(16) \quad \frac{dT_c}{dQ_{in}} = V \left(-\frac{1}{Q_{in}^2} + \frac{1}{(Q_p - Q_{in})^2} \right)$$

$$(17) \quad \frac{dT_c}{dQ_{in}} = 0 \rightarrow Q_{in}^2 = (Q_p - Q_{in})^2 \rightarrow Q_{in} = \frac{Q_p}{2}$$

$$(18) \quad T_c \left(\frac{Q_p}{2} \right) = V * \frac{4}{Q_p}$$

Luego,

$$(19) \quad V_{min} = T_{c min} * \frac{Q_p}{4}$$

Por tanto, el volumen mínimo o activo del pozo de bombeo con caudal de entrada variable se determina a través de la capacidad de la bomba y del tiempo de ciclo mínimo.

El caudal de diseño erogado por la bomba corresponde al caudal pico horario de verano de 23,16 m³/h (0,0064 m³/s) de manera que el tanque será capaz de evacuar el volumen máximo que ingrese en una hora en condiciones extremas.

$$(20) \quad V_{min} = T_{c min} * \frac{Q_p}{4} = 720 \text{ s} * \frac{0,0064 \frac{m^3}{s}}{4} = 1,2 \text{ m}^3$$

A partir de este volumen activo mínimo se dimensiona los niveles de arranque y paro correspondientes, según un diámetro recomendado para que el arreglo de bombas cuente con suficiente espacio para su correcto funcionamiento.

A su vez, se agregaron 0,8 m de sumergencia de las bombas para evitar la cavitación. Si bien este valor es informado por el proveedor una vez realizada la compra del equipo, el número adoptado resulta lo suficientemente conservador para asegurar que se evite la formación de remolinos (vórtices) que puedan afectar el funcionamiento de la bomba.

Tabla XXIII: Características del tanque de ecualización.

TK ECUALIZADOR / BOMBEO	
N° arranques / hora	5
Tiempo ciclo (s)	720
Qp (m ³ /s)	0,0064
Volumen activo mínimo (m ³)	1,2
Diámetro tk (m)	2,0
h Vmin (m)	0,4
h sumergencia (m)	0,8
h al canasto (m)	0,1
h canasto (m)	0,5
h tapada (m)	0,8
H total tk (m)	2,6

Se decidió instalar una estación de bombeo prefabricada de la marca Mayper cuyas dimensiones fueron requeridas al proveedor según los cálculos realizados para el proyecto.



Figura 14: Estación de bombeo prefabricada de la marca Mayper construida con resina poliéster reforzada con fibra de vidrio. Fuente: Mayper.

El mezclado, para la correcta homogeneización del efluente, se realizará con un aireador sumergible. Se propuso un requerimiento de aire de $0,02 \text{ m}^3 \text{ aire/m}^3 \text{ reactor} \cdot \text{min}$. A partir de esta condición y el volumen del tanque (considerando desde la base del tanque al canasto), se calculó el caudal de aire necesario.

$$(21) \quad Q_{\text{aire}} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{h}} \right) = R_{\text{aire}} * V_{\text{tk equalizador}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 0,02 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{m}^3 \text{ reactor} \cdot \text{min}} * 4 \text{ m}^3 = 4,8$$

Se instalará un aireador de chorro sumergible marca blowtac modelo JA-04 con capacidad para $5 \text{ m}^3/\text{h}$ a una profundidad de $1,5 \text{ m}$ y un consumo de $0,4 \text{ kW}$.



Figura 15: Aireador de chorro sumergible. Fuente: Blowtac.

En esta etapa se controlará el pH y se corregirá en caso de ser necesario utilizando un dosificador volumétrico.

Tamizado

Para la remoción de sólidos finos se estableció el uso de un tamiz rotativo ya que este presenta mejores porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales (25-45% según Metcalf & Eddy, 2014) que los tamices estáticos. La mayor remoción de SST impactará posteriormente en la dosis de ozono necesaria, por esta razón, si bien el gasto energético es mayor que el del tamiz estático, se justifica en una etapa a futuro.

Se seleccionó el tamiz rotativo de alimentación interna de la marca argentina Shueiz Solutions modelo ERS2524 con malla de perfiles trapezoidales con aberturas de 2 mm, siendo este el que mejor se adapta al tipo de efluentes de este proyecto según el asesoramiento del proveedor (especificaciones técnicas en Anexo).



Figura 16: Fotos de referencia del tamiz rotativo seleccionado. Fuente: Shueiz Solutions.

Eficiencia

Se asignó eficiencias de remoción de 30% y 40% para SST y DBO, respectivamente. Para conocer el valor de TOC luego del tamizado, se mantuvo la relación propuesta por Metcalf & Eddy (2014) entre DBO y TOC para efluentes luego de una sedimentación primaria donde $TOC = DBO / 1,1$. Asimismo, se estimó que la DQO tendrá una relación de 0,4 con la DBO (valor mínimo del rango informado para mantener un criterio conservador sobre el aumento de la biodegradabilidad del efluente), según indica Metcalf & Eddy (2014) para las mismas condiciones antes mencionadas. La decisión de adoptar relaciones correspondientes a una post-sedimentación primaria y no al efluente crudo se realiza con base en lo expresado por este mismo autor en relación a que un tamizado fino con un tamiz rotativo alcanza similares eficiencias a las de una sedimentación primaria, e incluso mejores.

Tabla XXIV: Concentraciones de los parámetros SST, DBO, DQO y TOC según las eficiencias de remoción informadas en bibliografía.

EFICIENCIAS		
PARÁMETRO/ETAPA	CRUDO	TAMIZADO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	200	140
DQO (mg/L)	785	331,5
DBO (mg/L)	221	132,6
TOC (relación con DBO) (mg/L)	147	121

Pérdida de carga

Las pérdidas de carga para tamices suelen variar entre 0,8 a 1,4 m (Metcalf & Eddy, 2014).

Residuos/Lodos

Para el cálculo de la generación de residuos se adoptaron los valores de bibliografía para residuos cloacales para un tamiz rotatorio posterior a un desbaste con rejillas contemplando que, comparados con los residuos de estas últimas, los del tamiz suelen tener un peso específico menor y su contenido de humedad suele ser mayor (Metcalf & Eddy, 2014). Para el volumen generado se tomó el valor máximo del rango de entre 30 y 60 L residuo/1000 m³ efluente (siendo 40 L/1000 m³ el típico), ya que los datos corresponden a un tamiz con ancho de paso de 6 mm, mayor al del equipo seleccionado.

Dado que el volumen generado de lodos es muy pequeño para ser transportado por una cañería para su tratamiento, serán colectados en un contenedor de 0,05 m³ de capacidad y trasladados por el operador al menos una vez al día. Se debe evitar almacenar los lodos por muchas horas debido a la generación de olores.

Tabla XXV: Datos de generación de residuos del tamiz. Fuente: elaboración propia.

RESIDUOS TAMIZ	
Peso específico (kg/m ³)	900
Volumen (L res/1000 m ³ efl)	60
Humedad (%)	90
Q (m ³ /h)	23,16
Residuos generados (m ³ /h)	0,001
Residuos generados (kg/h)	1,251
Residuos diarios (kg)	30,0

Coagulación

La coagulación es un proceso que consiste en aplicar productos químicos para lograr la desestabilización de suspensiones coloidales de partículas sólidas y asimismo la adsorción y precipitación de compuestos en solución, a fin de su remoción por sedimentación, flotación y/o filtración, pasando previamente, o no, por un proceso de floculación. El proceso de coagulación se caracteriza por la alteración físico-química de partículas coloidales del agua, principalmente por la turbiedad y el color, produciendo su aglomeración en partículas sedimentables (ENOHSA).

Los mezcladores tienen como objetivo la dispersión instantánea del coagulante en toda la masa de agua que se va a tratar. Esta dispersión debe ser lo más homogénea posible, con el objeto de desestabilizar todas las partículas presentes en el agua y optimizar el proceso de coagulación. La eficiencia de la coagulación depende de la dosificación y de la mezcla rápida. En la unidad de mezcla la aplicación del coagulante debe ser constante y distribuirse de manera uniforme en toda la sección. Debe existir una fuerte turbulencia para que la mezcla del coagulante y la masa de agua se dé en forma instantánea (CEPIS/OPS, 2004).

La mezcla rápida puede realizarse aprovechando la turbulencia provocada por dispositivos hidráulicos o mecánicos. En los mezcladores mecánicos, la turbulencia necesaria para la mezcla proviene de una fuente externa, generalmente un motor eléctrico y, de este modo, puede ser fácilmente controlable. Por otro lado, la potencia disipada en los mezcladores hidráulicos tiene origen en el trabajo interno del fluido y, por lo tanto, es función de la forma geométrica del mezclador y de las características del flujo, lo que hace que las condiciones de mezcla sean difíciles de controlar por el operador (CEPIS/OPS, 2004).

Tabla XXVI: Clasificación de las unidades de mezcla rápida (CEPIS/OPS, 2004).

Mecánicas	Retromezclador en línea		
Hidráulicas	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinado	
		Vertedero rectangular	
	En línea	Difusores	En tuberías
		Inyectores	En canales
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios ahogados	
	Velocidad o cambio de flujo	Línea de bombeo	
		Codos	

El tiempo de retención puede variar de décimas de segundos a siete segundos, dependiendo de la concentración de coloides en el agua por tratar y del tipo de unidad seleccionada.

En primera instancia, se propuso la implementación de un mezclador mecánico, el cual se diseñó a partir de los criterios establecidos por ENOHSA.

Tabla XXVII: *Parámetros adoptados y calculados para el dimensionamiento de un mezclador mecánico.*

PARÁMETROS	MEZCLADOR MECÁNICO	
Q (m ³ /h)	23,16	DISEÑO
Q (m ³ /s)	0,0064	
t permanencia (s)	4	MENOR A 7 s (ENOHSA)
G*T:	1500	ELEGIDO
G: tiempo de permanencia (s-1)	375	VERIFICA
Volumen (m ³)	0,026	MUY PEQUEÑO
	Rango	
G*t permanencia	300-1600	PERMITIDO
G: tiempo de permanencia	300-1200	DEBE VERIFICAR

Sin embargo, para todas las combinaciones permitidas, el volumen del mezclador dio siempre menor a 1 m³, de manera que la unidad sería de un tamaño muy pequeño y se optó por una unidad de mezclado estática.

Un mezclador estático es un dispositivo utilizado para mezclar fluidos de manera homogénea sin necesidad de partes móviles. Consiste en una carcasa tubular con elementos fijos en el interior, llamados elementos de mezcla, que se encargan de perturbar el perfil de la corriente para que todos los ingredientes se mezclen hasta formar una sustancia homogénea.

Mezclador estático

Se seleccionó el mezclador estático de la marca argentina Ingeniería Bernoulli S.A. con la correspondiente consulta al proveedor para su verificación según los parámetros de diseño y características del efluente. Según lo indicado, con base en las necesidades para el presente proyecto, el modelo que cumple con los requisitos es el MEH 80/6 de DN80 (NPS 3"). El material de la tubería es AISI 316L y se optó por incluir un revestimiento interno de teflón para aumentar su resistencia a la corrosión dado que funcionará de reactor de mezcla al adicionar químicos.

El mezclador estático helicoidal de la serie MEH de la marca Ingeniería Bernoulli es un aparato «de línea», carente de partes móviles, que se intercala directamente en una corriente, el cual permite mezclar íntimamente dos o más fluidos que se inyectan desde distintos ramales en puntos ubicados aguas arriba del mismo. El aparato consiste en una serie de elementos helicoidales, alternativamente dextrógiros y levógiros insertados dentro de un tramo de caño. Se los emplea como reactor tubular cuando se necesita acelerar la combinación de los compuestos químicos puestos en contacto (Ingeniería Bernoulli S.A., 2024).

El mezclador estático para líquidos y gases, puede colocarse en cualquier posición, a la intemperie e incluso en lugares de acceso incómodo, ya que no requiere ninguna atención ni mantenimiento. Es un aparato simple y confiable que funciona por años sin interrupción. Su costo es muy modesto comparado con otras instalaciones de mezclado y su incorporación al proceso no implica incremento alguno del área ocupada ya que sólo requiere el lugar que, inevitablemente, se habría destinado al caño de conducción. Es, además, extremadamente versátil en cuando al manejo de líquidos pues admite el más amplio rango de viscosidades (Ingeniería Bernoulli S.A., 2024).

Dimensionamiento del mezclador estático total

Se calculó el área de la cañería a partir del diámetro interno real (suponiendo un Sch 40) y, luego, la longitud necesaria para cumplir con el volumen requerido:

$$(22) \quad A_{mezcl est} = \pi \frac{(D_i)^2}{4} = \pi \frac{(0,078 \text{ m})^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$(23) \quad l_{mezcl} = \frac{V_{mezcl}}{A_{mezcl}} = \frac{0,026 \text{ m}^3}{0,005 \text{ m}^2} = 5,4 \text{ m}$$

Finalmente, serán necesarios 8 mezcladores en serie ya que la longitud de cada uno es de 0,75 m.

Para el cálculo de la pérdida de carga, se brindaron al proveedor los datos de densidad (ρ) y viscosidad dinámica (μ) del efluente, los cuales, según Xu et al. (2014) en su estudio de líquidos cloacales crudos, ρ asume que es similar a la del agua y μ es 2-3 veces la del agua ($\mu_{20^\circ\text{C}}=0,001003 \text{ Pa.s}$) para flujo turbulento a la misma temperatura en una tubería de similares características. Para $T^\circ=20^\circ\text{C}$: $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ y $\mu_{\text{máx}}=0,003 \text{ kg/m.s}$. La pérdida de carga máxima por mezclador es de 0,1 bar.

Tabla XXVIII: Parámetros adoptados y calculados para el dimensionamiento de un mezclador estático.

PARÁMETROS	MEZCLADOR ESTÁTICO	
MARCA	INGENIERÍA BERNOULLI	
MODELO	MEH 80/6	
Schedule cañería	40	
Material	AISI 316 L - revestimiento interno de ETFE	
DN (mm) / NPS (pulgadas)	80	3
Diámetro externo real (mm)	88,9	
Grosor pared Sch 40 (mm)	5,49	
Diámetro interno real (mm)	77,92	
Volumen requerido (m3)	0,026	
Diámetro mezclador (m)	0,078	
Área mezclador (m2)	0,005	
Longitud mezclador (m)	5,40	
N° de elementos de mezcla	6	
Longitud mezclador comercializado (m)	0,75	
N° de mezcladores en serie	8	
Caída de presión máxima por mezclador (bar)	0,1	
Caída de presión máxima total (bar)	0,8	
PARÁMETROS DEL EFLUENTE (20°C)		
Densidad ρ (kg/m3)	1000	
Viscosidad dinámica μ máxima (kg/m.s)	0,003009	

Coagulante: Sales de aluminio

Se decidió utilizar como coagulante al sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ya que, para el modo de operación continuo se identificó a las sales de aluminio como coagulantes mejores que los férricos (Suarez et al., 2009). El mismo será inyectado al ingreso del mezclador estático por medio de una bomba dosificadora.

La dosis de coagulante a implementar (25 mg/L) se basó en los resultados obtenidos durante los experimentos en Batch realizados por Suarez et al. (2009), que indicaron que trabajar con dosis de coagulante más altas que 50 mg/L no condujo a una mejora significativa en la eliminación de sólidos suspendidos totales y fármacos, siendo 25 mg/L una dosis óptima. La eliminación de sólidos suspendidos totales (SST) para esta dosis alcanza una eficiencia de remoción promedio del 92% en el proceso combinado de coagulación-flotación sin necesidad de adición de un floculante.

Para la dosificación de coagulante se calculó el caudal necesario según las especificaciones del proveedor.

$$(24) \quad C_{coag} * Q_{coag} = C_{mezcla} * Q_{efluente}$$

Donde:

C_{coag} : Concentración del coagulante en el producto

Q_{coag} : Caudal de coagulante a aplicar

C_{mezcla} : Concentración final del coagulante en el efluente

$Q_{efluente}$: Caudal del efluente a tratar

El producto comercial tiene una concentración del 8%.

$$(25) \quad C_{coag} = 8\% = \frac{8 \text{ g}}{100 \text{ mL}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 80000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Luego,

$$(26) \quad Q_{coag} = \frac{C_{mezcla} * Q_{efluente}}{C_{coag}} = \frac{25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 23160 \frac{\text{L}}{\text{h}}}{80000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 7,24 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 2 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Para la dosificación se instalará una bomba peristáltica dosificadora Verdeflex DS500 del proveedor All Pumps Argentina.



Figura 17: Bomba peristáltica para dosificación de coagulante Verdeflex DS500. Fuente: All Pumps Argentina.

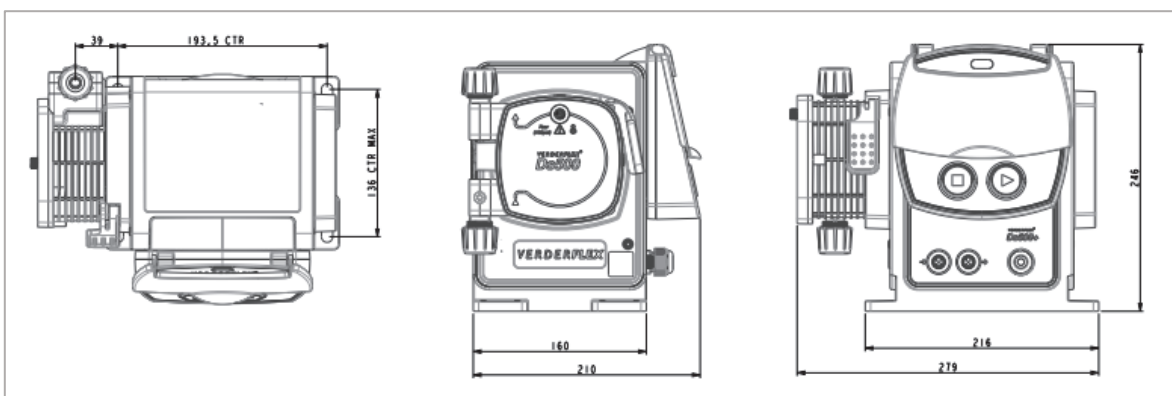


Figura 18: Dimensiones estimadas de la bomba peristáltica para dosificación de coagulante Verdeflex DS500. Fuente: All Pumps Argentina.

Para estimar la cantidad de coagulante necesario que debe ser almacenado para abastecer al dosificador durante un mes se supuso el caso más extremo en el cual, durante los 30 días del mes se generen 457,32 m³ por día, dando un total de 13719,6 m³ de efluente a tratar en el mes.

Se calculó, entonces, el volumen de coagulante necesario para un mes de manera de tener en cuenta el espacio a ocupar por el reactivo:

$$(27) \quad \frac{V_{coag}}{mes} = \frac{C_{ef} * V_{ef}}{C_{coag}} = \frac{25 \frac{g}{m^3} * 13719,6 m^3}{80000 \frac{g}{m^3}} = 4,3 m^3$$

Floculación

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico.

El gradiente de velocidad debe variar en forma uniformemente decreciente, desde que la masa de agua ingresa a la unidad hasta que sale.

El tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua. En las zonas tropicales, donde las aguas presentan temperaturas por encima de los 20 °C, el tiempo de floculación necesario suele ser más breve, alrededor de 15 minutos. En cambio, en los lugares fríos, donde el agua tiene temperaturas de 10 a 15 °C, generalmente el proceso se optimiza con tiempos de retención iguales o superiores a 20 minutos.

Floculador mecánico

Se entiende por floculadores mecánicos aquellos que requieren una fuente de energía externa que mueva un agitador en un tanque o en una serie de tanques, en donde el agua permanece un tiempo teórico de detención (Arboleda Valencia, 1992).

ENOHSA establece que el tiempo de permanencia (tiempo de floculación) debe estar entre los 20 a 30 min cuando el proceso que sigue es la decantación; y la energía aplicada calculada como el gradiente G por el tiempo de permanencia debe ser entre 10^4 y 10^5 , con una media de $5 \cdot 10^4$, siendo los valores más bajos para aguas de turbiedad alta y los más altos para aguas de baja turbiedad.

El tiempo de permanencia adoptado fue de 1700 s (aproximadamente 27 minutos) y un gradiente G de $29,4 \text{ s}^{-1}$ (rango recomendado entre $10\text{-}70 \text{ s}^{-1}$) que verifican el valor medio de $G \cdot t = 50000$.

Se calculó el volumen necesario para el tanque de floculación a partir del caudal y el tiempo de permanencia adoptado según las normas de ENOHSA y los ensayos en bibliografía.

$$(28) \quad V_{floc} = Q * t_p = 23,16 \frac{m^3}{h} * \frac{1}{60} \frac{h}{s} * 1700 \text{ s} \approx 11 \text{ m}^3$$

La geometría seleccionada es cilíndrica. Se adoptó una relación 1:1 para el diámetro y la altura, con un 12% de capacidad extra. Se incorporarán cuatro baffles para evitar el efecto vórtice, de un décimo del diámetro del tanque cada uno.

Tabla XXIX: Dimensiones del tanque de floculación diseñado.

DIMENSIONAMIENTO TK FLOCULACIÓN	
PARÁMETRO	VALOR
Q (m ³ /h)	23,16
Q (m ³ /s)	0,0064
t permanencia (s)	1700
G: tiempo de permanencia (s ⁻¹)	29,4
G*t permanencia	50000
Volumen necesario (m ³)	10,9
Altura (m)	2,5
Diámetro (m)	2,5
Volumen final (m ³)	12,3
Área (m ²)	4,9
Baffles anti-vortexing (m)	0,25

Para el diseño de la turbina se adoptaron los valores recomendados por Metcalf & Eddy (2014) y los criterios de diseño de ENOHSA.

Tabla XXX: Relaciones geométricas recomendadas para el modelado de la turbina en relación al tanque de floculación.

Relaciones geométricas para el modelado		
Relación	Mínimo	Máximo
D total/ D turbina	2	6,6
H/D turbina	2,7	3,9
h/D turbina	0,9	1,1
W	D/8	
L	D total/12	

Tabla XXXI: Dimensiones de la turbina diseñada en base a las relaciones geométricas adoptadas y las medidas del tanque diseñado.

RELACIONES GEOMÉTRICAS TK/TURBINA			
PARÁMETRO	Valor	Valor adoptado del rango recomendado	Relaciones geométricas para el modelado
D total (m)	2,5	3	D total/ D turbina
D turbina (m)	0,8		
H total (m)	2,5	3	H/D turbina
h piso-turbina (m)	0,8	1	h/D turbina
B largo paletas 1/2 (m)	0,2		
W alto paleta (m)	0,1		
L ancho (m)	0,2		

En cuanto a la turbina, la potencia disipada por la misma se calculó como:

$$(29) \quad P = \mu \cdot V \cdot G^2 (\text{Watt})$$

Donde P: potencia disipada (Watt); μ : viscosidad (kg/m.s); V: volumen del reactor (m³); G: gradiente (s⁻¹).

A su vez, se calculó la velocidad de mezcla (velocidad de rotación) como:

$$(30) \quad n = \sqrt[3]{\frac{P}{K \cdot \rho \cdot D^5}}$$

Donde: n: velocidad de rotación (r.p.s); K: número de potencia; ρ : densidad (kg/m³); D: diámetro de turbina (m).

Tabla XXXII: Parámetros de la turbina y datos utilizados para los cálculos.

TURBINA	
PARÁMETROS TURBINA	VALOR
Potencia turbina (Watt)	32
Viscosidad a T° (kg/m.s)	0,003
Volumen reactor (m ³)	12,3
G (s ⁻¹)	29,4
K impulsor 4 paletas	0,75
Densidad (kg/m ³)	1000
D turbina (m)	0,8
n (r.p.s)	0,5
n (r.p.m.)	30,4

Flotación

Se diseñó una cámara de flotación para la remoción de los sólidos suspendidos floculados y posibles grasas o aceites que podrían encontrarse en el efluente y perjudicar las etapas posteriores. El tipo de flotación seleccionado fue el de Aire Disuelto (DAF, por sus siglas en inglés) ya que este presenta mejores rendimientos que la flotación por Aire Inducido (IAF) en cuanto a remoción de SST y DQO, lo cual es sumamente necesario para la posterior etapa.

El esquema clásico con los componentes de una DAF a continuación de una etapa de coagulación/floculación se muestra a continuación.

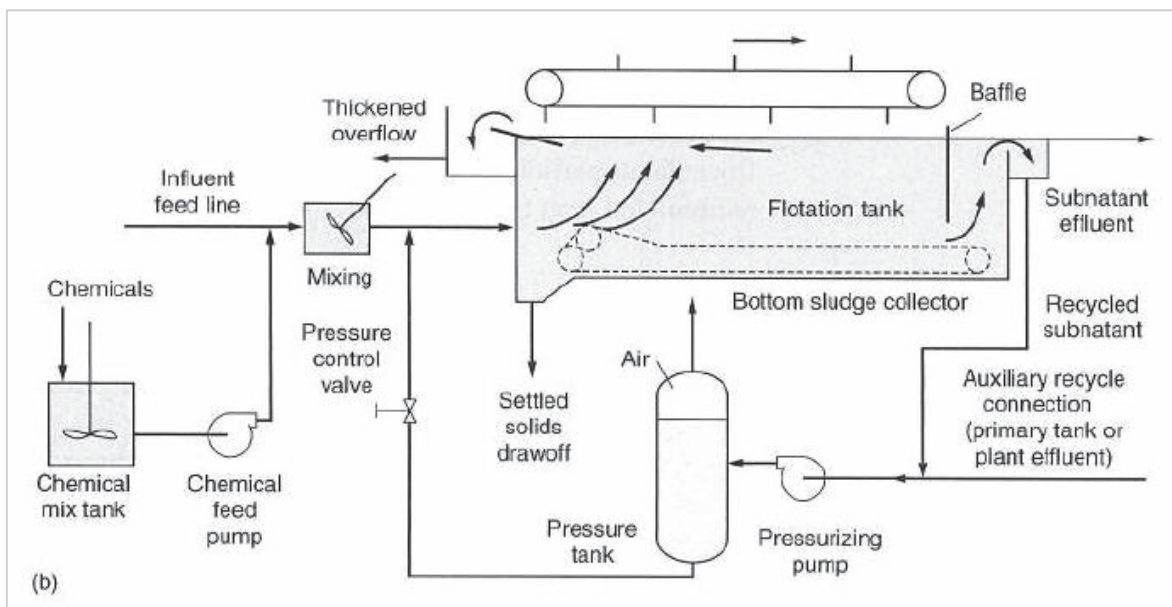


Figura 19: Esquema clásico de una unidad DAF con recirculación. Fuente: Metcalf & Eddy (2014).

Dado que no se cuenta con ensayos de tratabilidad del efluente, se adoptaron valores dentro de los rangos recomendados en bibliografía.

El caudal a tratar es de $0,39 \text{ m}^3/\text{min}$ y se recirculará un 15% del mismo para ser enviado al sistema de presurización.

Se calculó, en primera instancia, las dimensiones de la cámara de presurización. Se estableció un tiempo de permanencia de 2 minutos (Eckenfelder recomienda de 1-3 min), una presión de trabajo de 3 atm y un factor de seguridad de presión a soportar por el tanque de 0,3.

$$(31) \quad \text{Volumen } tk_{pres} = Q_{rec} * t_{res} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 2 \text{ min} = 0,12 \text{ m}^3$$

A continuación, se verificó que la relación A/S se encuentre dentro del rango recomendado ($0,005\text{-}0,06 \text{ kg aire/kg SST}$). Los cálculos se realizaron para una temperatura de 25°C para suponer un caso desfavorable.

$$(32) \quad \frac{A}{S} = \frac{1,3 * s_a * (f * P - 1) * Q_{rec}}{SST * Q}$$

Donde:

1,3: peso específico del aire (mg/cm^3)

s_a : Solubilidad del aire en agua a presión atmosférica a una determinada temperatura (cm^3/L)

f : Fracción de aire disuelto a presión de trabajo, entre 0,5 y 0,9

P : presión de trabajo (atm)

Q_{rec} : Caudal recirculado (m^3/s)

SST : Concentración de sólidos (mg/L)

Q : Caudal de efluente (m^3/s)

$$(33) \quad \frac{A}{S} = \frac{1,3 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3} * \frac{16,1 \text{cm}^3}{\text{L}} * (0,6 * 3 - 1) * 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{140 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0,39 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = 0,02 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{SST}}}$$

La unidad de presurización estará compuesta por el tanque, un compresor que suministrará el aire y una bomba de recirculación que presurizará el líquido.

El líquido presurizado es mezclado con la línea principal previo al ingreso a la cámara de flotación.

Se seleccionó el sistema de recirculación para DAF de la marca Pan America Environmental modelo RSS-1225 capaz de recircular los 3,5 m^3/h necesarios y con volumen suficiente para el tiempo de permanencia de 2 min. El sistema incluye el tanque de presurización, la bomba presurizadora y el tablero de control.



Figura 20: Sistema de recirculación sin y con tablero de control. Fuente: Pan American Environmental, 2014.

Luego se dimensionó la cámara de flotación adoptando una carga superficial (C_s) de $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{min}$ (dentro de los rangos recomendados por Eckenfelder, Metcalf y la Universidad de Buenos Aires) y un tiempo de residencia de 30 min. A partir de la carga hidráulica, se obtuvo el área superficial de flotación (A_{sup}) que debe tener la unidad.

$$(34) \quad C_s = \frac{Q + Q_{rec}}{A_{sup}}$$

$$(35) \quad A_{sup} = \frac{Q + Q_{rec}}{C_s} = \frac{0,44 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}} = 7,4 \text{ m}^2$$

A su vez, el volumen del tanque de flotación se calculó como:

$$(36) \quad Vol_{tk \text{ flot}} = (Q + Q_{rec}) * t_{res} = 0,44 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 30 \text{ min} = 13,4 \text{ m}^3$$

$$(37) \quad Vol_{tk \text{ floc}} = A_{sup} * h = B * L * h$$

Donde B: ancho (m); L: largo (m); h: altura (m).

La eficiencia reportada para la coagulación-floculación-flotación por Suarez et al. (2009) es de 92% para SST y de 50% para DQO. Se adoptaron eficiencias de 85% y 40%, respectivamente, dando concentraciones de SST=21 mg/L y DQO=199 mg/L. Las nuevas concentraciones de DBO y TOC (80 mg/L y 66 mg/L) se calcularon a partir de las relaciones propuestas por Metcalf & Eddy (2014) para efluentes luego de la sedimentación primaria, donde $DBO=DQO*0,4$ y $TOC=DBO/1,2$.

Según Metcalf & Eddy (2014) para la sedimentación primaria:

DBO/DQO: 0,4-0,6

DBO/TOC: 0,8-1,2

Generación de barros

En cuanto a la generación de barros en la unidad, se calculó la masa de sólidos que es removida para un 85% de eficiencia y se estimó el volumen de lodos suponiendo que la concentración de sólidos en el mismo es de un 3% y su gravedad específica de 1,02, valores recomendados por Metcalf & Eddy para la etapa de sedimentación primaria.

$$(38) \quad \frac{Vol_{barros}}{hora} = \frac{M_s}{\rho_w * S_s * p_s} = \frac{SST_i * \%Remoc * Q}{\rho_w * S_s * p_s}$$

Donde:

M_s : masa de sólidos secos por hora calculada como la concentración de sólidos suspendidos en el efluente por el porcentaje de remoción y el caudal horario.

ρ_w : peso específico del agua 10^3 kg/m^3

S_s : gravedad específica del barro

P_s : porcentaje de sólidos en el barro expresado en decimal

$$(39) \quad \frac{Vol_{barros}}{hora} = \frac{140 \frac{mg}{L} * 0,85 * \left(0,39 \frac{m^3}{min} * 1000 \frac{L}{m^3} \right) * 60 \frac{min}{h} * \frac{1 kg}{10^6 mg}}{1000 \frac{kg}{m^3} * 1,02 * 0,03} = 0,09 m^3 \frac{barros}{hora}$$

En la cámara, los flóculos que ascienden a la superficie formando una capa de flotantes serán arrastrados al compartimento de recolección de barros por medio de una rasqueta automática. Los lodos sedimentados serán recogidos en una tolva inferior con capacidad de acumular la generación de 24 hs.

A partir de los parámetros a cumplir, se seleccionó el equipo modelo DAF-60 de la marca Pan America Environmental.

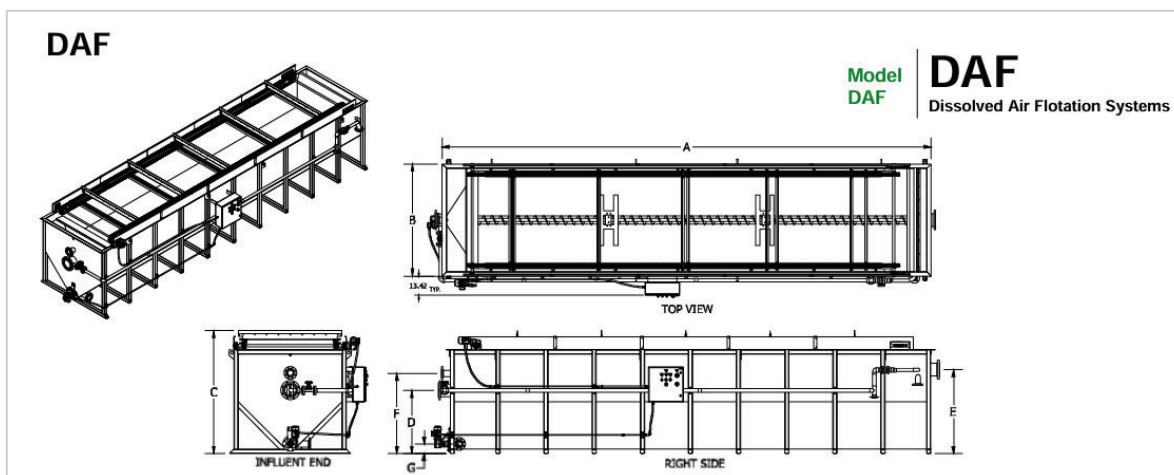


Figura 21: Esquema de la unidad DAF de la marca Pan America Environmental. Fuente: Pan America Environmental, 2024.

A continuación, se detallan todos los parámetros adoptados y calculados para cada unidad del sistema DAF.

Tabla XXXIII: Dimensiones y parámetros adoptados/calculados para cada unidad del sistema DAF.

DISEÑO UNIDADES DAF	
Q (m3/min)	0,39
Factor de recirculación	0,15
CÁMARA DE PRESURIZACIÓN	
Tiempo de residencia (min)	2
Q reciclo (m3/min)	0,06
Volumen tk (m3)	0,12
Diámetro tk (m)	3,0
Altura tk (m)	1,6
Presión de trabajo (atm)	3
Factor de seguridad tk	0,3
Presión soportada por tk (atm)	4
A/S (kg aire/kg SST)	0,02
Solubilidad aire 25°C (cm3/L)	16,1
f	0,6
SSTi (mg/L)	140
Q SST (mg/min)	0,054
Q aire a inyectar (mg/min)	0,001
CÁMARA DE FLOTACIÓN	
Carga superficial (m3/m2 min)	0,06
Área superficial (m2)	7,4
Largo (m)	4,5
Ancho (m)	1,8
Altura + revancha 0,2 m (m)	1,7
Tiempo de residencia (min)	30
Volumen tk (m3)	13,4
Material en contacto con agua	AISI 316
GENERACIÓN DE BARROS	
Eficiencia remoción SST	0,85
SSTi (kg/h)	3,24
SST removidos (kg/h)	2,76
Concentración de sólidos (%)	3%
Gravedad específica del barro	1,02
Volumen barros por hora (m3)	0,09
Volumen barros por día (m3)	2,16
Tolva de barros (m3)	2,60

Ozonización

Un sistema de ozonización se compone del suplemento del gas de alimentación (puede ser aire u oxígeno), un generador de ozono, una cámara de contacto y un destructor de ozono.

Según el Proyecto PILLS, la dosis ideal para la remoción de más del 80% de la mayoría de los compuestos farmacéuticos es de 0,5 g O₃/g DOC, siendo el límite máximo de 1,1 g O₃/g DOC para evitar la formación de bromatos potencialmente carcinogénicos. Dado que no consta en bibliografía el DOC del efluente hospitalario, ni tampoco a qué proporción del TOC corresponde, se asumió que el DOC es igual al TOC. Esto con base en que el TOC engloba al DOC y según diversos autores, el DOC puede ser casi la totalidad del TOC en efluentes domiciliarios si no se ha realizado un tratamiento biológico.

A partir del DOC del efluente y la concentración de ozono necesaria a aplicar se calculó la capacidad de generación que debe tener el generador de ozono.

$$(40) \quad \text{Caudal } O_3 \left(\frac{kg \ O_3}{h} \right) = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) * DOC \left(\frac{g \ DOC}{m^3} \right) * [O_3] \left(\frac{g \ O_3}{g \ DOC} \right) * \frac{1 \ kg}{1000 \ g}$$

$$(41) \quad \text{Caudal } O_3 \left(\frac{kg \ O_3}{h} \right) = 23,16 \left(\frac{m^3}{h} \right) * 66 \left(\frac{g \ DOC}{m^3} \right) * 0,5 \left(\frac{g \ O_3}{g \ DOC} \right) * \frac{1 \ kg}{1000 \ g} = 0,76$$

Se seleccionó un equipo que fuese capaz de proveer el caudal de ozono necesario (0,76 kg/h), suponiendo que el equipo tiene una eficiencia de generación del 80%. El generador elegido fue el MAT – KULING OZO-1000 con capacidad de generación de 1 kg de ozono por hora, el cual es alimentado por oxígeno ya que el caudal exigido no puede ser obtenido eficientemente a partir de aire.

Se anexará un concentrador de oxígeno MAT-KULING OX-160 que eroga un caudal de 160 L O₂/min, supliendo la demanda del generador de ozono (130 L O₂/min).



Figura 22: Generador de ozono MAT-KULING OZO-1000. Fuente: MAT-KULING.

Tabla XXXIV: Detalle dimensionamiento del generador de ozono.

DISEÑO UNIDADES OZONIZACIÓN	
Q (m3/min)	0,39
Q (m3/h)	23,16
GENERADOR DE OZONO	
TOC (Carbono orgánico total, mg/L)	66
Relación TOC/DOC adoptada	1
DOC (carbono orgánico disuelto, mg/L)	66
Dosis O3 (g O3/ g DOC)	0,5
Caudal de O3 (kg O3/h)	0,76
Caudal de O3 (kg O3/d)	18,34
Generador de ozono	MAT - KULING OZO-1000
Capacidad (kg O3/h)	1
Eficiencia adoptada	0,8
Dimensiones LargoxAnchoxAlto(mxm)	2,2x1,1x2,1
Alimentación	Oxígeno
Caudal oxígeno necesario (L/min)	130
Concentrador de O2	MAT - KULING OX-160
Concentrador de O2 (L/min)	160
Dimensiones LargoxAnchoxAlto(mxm)	0,85x0,55x2

En cuanto al tiempo de contacto, se diseñó el tanque para asegurar un tiempo de retención de 30 minutos (dentro del rango recomendado por los autores del proyecto PILLS).

Tabla XXXV: Detalle dimensionamiento del tanque de contacto con ozono.

TANQUE DE CONTACTO	
Tiempo de retención (min)	30
Volumen útil (m3)	11,6
Diámetro (m)	1,7
Base (m2)	2,3
Altura (m) + 5%	5,4
Material difusores	Cerámica
Diámetro difusor (m)	0,229
N° difusores	4

El ozono será transferido a la cámara a través de difusores de burbuja fina de cerámica aptos para su contacto con ozono a una profundidad de 4 m. El modelo seleccionado fue el difusor en disco de la línea Sanitaire de Xylem (0,8-7 Nm³/h).

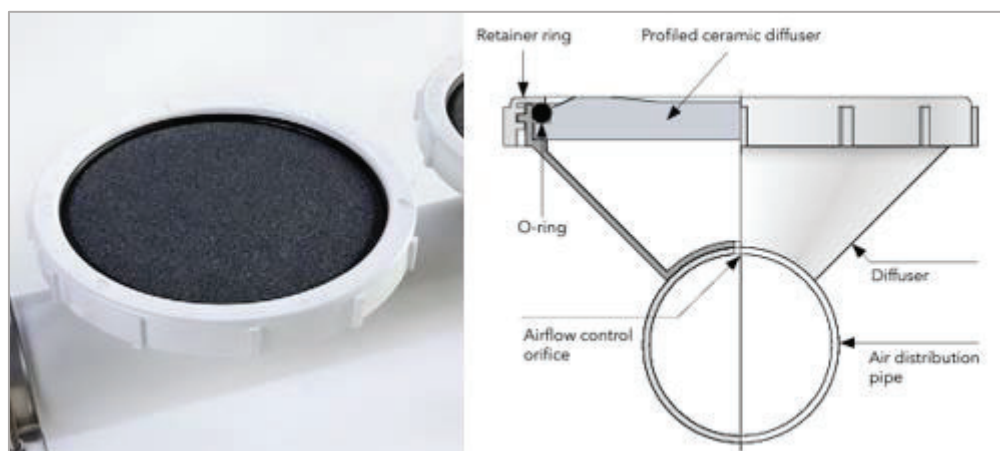


Figura 23: Difusores de burbuja fina Sanitaire. Fuente: Xylem.

Para definir la cantidad de difusores a instalar se calculó cuantas unidades serán necesarias según su capacidad. Según las especificaciones del generador de ozono, el mismo eroga 1000 g/h y 130 L/min, de una mezcla de concentración de entre 6 y 15 %wt (porcentaje en peso), siendo 9% el valor nominal.

A partir de estos datos se calculó cuantos Nm³ de gas con 9%wt de ozono son necesarios por hora para alcanzar una demanda de 1000 g/h (ya que se considera una eficiencia de transferencia de aproximadamente 80%).

Como primer paso se calculó cuantos g/Nm³ contiene el gas a partir de la iteración de la siguiente fórmula:

$$(42) \quad \%wt = 9\% = \frac{\frac{g}{Nm^3} * 100\%}{\frac{g}{Nm^3} - \frac{\rho_{O_2}}{\rho_{O_3}} * \frac{g}{Nm^3} + \rho_{O_2}}$$

Donde: ρ_{O_2} : densidad del gas de alimentación; ρ_{O_3} : densidad del ozono

Para el 9%wt, el valor que verifica fue de 132 gO₃/Nm³. Esto se corrigió a la temperatura ambiente (20°C) ya que el valor hallado corresponde a las condiciones normales (0°C y 1 atm) usando la relación de temperaturas.

$$(43) \quad m^3 = \frac{273,15 K}{293,15 K} * Nm^3 = 0,932 * Nm^3$$

Si se estima una capacidad de 5 Nm³/h para cada difusor, la masa de ozono erogada será de 615 g/h por lo que se requerirán dos difusores para suplir la demanda. Finalmente, se decidió adquirir 4 unidades para una distribución más uniforme del ozono, evitar zonas muertas y poder tener unidades extra en reserva en caso de un mal funcionamiento de alguna de ellas.

Tabla XXXVI: Parámetros para el diseño de la difusión de ozono.

DIFUSORES	
%wt (porcentaje en peso)	9
Densidad feed gas O2 (g/Nm3)	1428,96
Densidad feed gas O3 (g/Nm3)	2143,93
g/Nm3 O3 (propuesto)	132
Verificación Iteración %wt	9,0
g/m3 O3 (20°C)	123
Capacidad x difusor (Nm3/h)	5
g O3/h necesarios	1000
m3/h total necesarios	8,1
Nm3/h total necesarios	8,7
N° difusores	2
Total	4

El último paso es la destrucción del ozono residual. Se optó por una unidad de destrucción catalítica que no consume ningún tipo de energía, rellena con un catalizador hecho de una mezcla especial de metales nobles activados sobre un sustrato cerámico de óxido.

Unidad de destrucción

El dimensionamiento de la unidad de destrucción se realizó con base en la estimación del ozono no transferido a la mezcla. Diversos proveedores expertos en ozonización como Absolute Ozone, Minstrong y Spartan water treatment, además de la UNESCAP (Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacífico) informan una eficiencia de transferencia de ozono (OTE) de entre el 90-95% cuando se utilizan difusores de burbuja fina y una profundidad de tanque de contacto mayor a 5 m.

$$(44) \quad O_3 \text{ residual } \left(\frac{g}{h}\right) = [O_3] \left(\frac{g}{m^3}\right) * Q \left(\frac{m^3}{h}\right) * (1 - OTE)$$

Donde $[O_3]$ es la dosis de ozono, Q es el caudal y OTE es la eficiencia de transferencia de ozono.

$$(45) \quad O_3 \text{ residual } \left(\frac{g}{h}\right) = 33 \left(\frac{g}{m^3}\right) * 23,16 \left(\frac{m^3}{h}\right) * (1 - 0,90) = 76,43$$

Se seleccionó el equipo de la marca alemana Innovatec modelo KVME-P30 capaz de destruir 90 g/h de gas residual alcanzando los estándares internacionales a cumplir en cuanto a instrucciones en el área de trabajo y regulaciones para la prevención de emisiones de la ONU, siendo estas últimas las más estrictas (de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

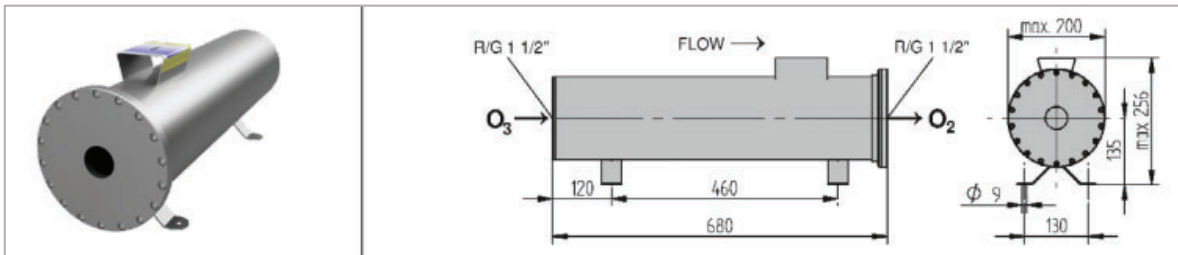


Figura 24: Destructor de ozono KVME-P30. Fuente: Innovatec.

Catalizador

Los catalizadores a base de dióxido de manganeso, como los comercializados por Minstrong catalyst, pueden descomponer el ozono a temperaturas ambientales. Estos catalizadores muestran eficiencias de destrucción de ozono muy altas, incluso en aplicaciones con alta humedad (Water Conditioning & Purification International Magazine, 2024). Según la recomendación del proveedor para el presente proyecto, las partículas más adecuadas son las granulares malla 4-8 (modelo: MINSLITE-BG01).



Figura 25: Catalizador granular. Fuente: Minstrong catalyst.

El catalizador tiene una vida útil de varios años, la cual dependerá de las condiciones a las que haya sido sometido.

Se debe evitar una gran cantidad de polvo, grasa, azufre, fósforo, halógenos y metales pesados en el aire de admisión. Cuando el gas esté húmedo, evitar los gases ácidos, como los óxidos de nitrógeno, en el aire de admisión.

Cuando se utiliza el catalizador en un ambiente muy húmedo (100% de humedad relativa), los fabricantes de catalizadores recomiendan calentar el flujo de aire de entrada aproximadamente 8°C por encima de la temperatura ambiente para prevenir la condensación de humedad sobre el catalizador. La condensación de agua en la superficie del catalizador inhibirá la penetración del ozono en los sitios activos del catalizador, reduciendo su rendimiento. Si el catalizador se satura con agua, calentar el catalizador para eliminar la humedad regenerará la actividad del catalizador.

Tabla XXXVII: Destructor de ozono seleccionado.

DESTRUCTOR DE OZONO	
OTE (%)	90%
O3 residual (g/h)	76,43
Modelo	Innovatec KVME-P30
Diámetro max. (mm)	200
Largo (mm)	680
Altura total equipo (mm)	256
Material de la carcasa	Acero inoxidable pasivado con titanio (1.4571)
Catalizador (relleno)	Dióxido de manganeso/óxido de cobre

UV

Se diseñó una unidad de tratamiento con UV que sea capaz de remover hasta un 90% de medios de contraste para rayos X y patógenos. Para esto, se requiere una dosis de UV de 7200 J/m^2 y un tiempo de retención de entre 15-160 s.

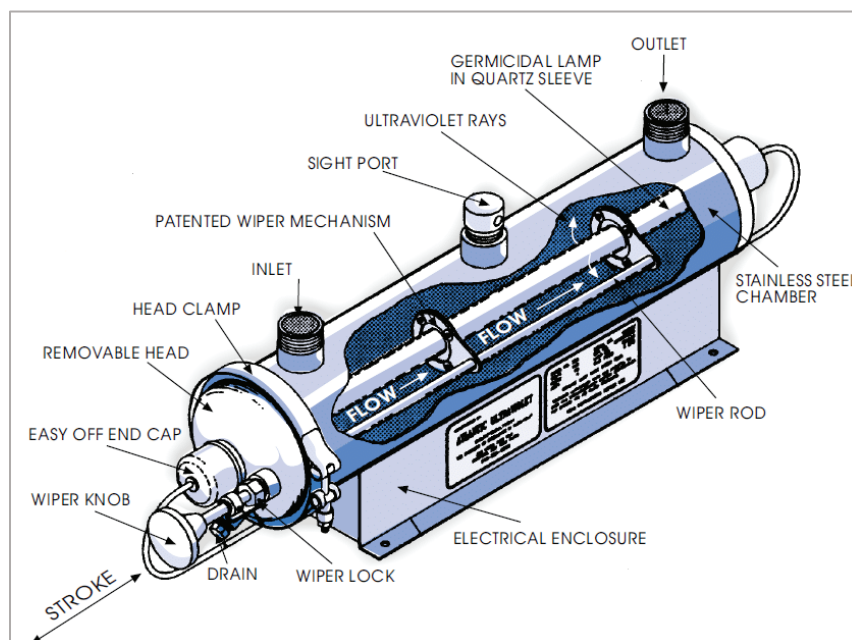


Figura 26: Esquema de un reactor UV típico. Fuente: Zabava et al., 2018.

Se calculó el volumen efectivo del tanque para un tiempo de permanencia de 50 s dando un volumen útil de $0,3 \text{ m}^3$.

Tabla XXXVIII: Detalles de diseño de la Cámara UV.

CÁMARA UV	
Tiempo de retención (s)	50
Volumen útil (m3)	0,32
Volumen total (m3)	0,33
Largo útil (m)	1,40
Base (m2)	0,24
Diámetro (m)	0,55
Material	SS316L / 1.4404

Se determinó la intensidad que deben proveer las lámparas a partir de la ecuación para el cálculo de dosis de ozono, suponiendo que la transmisividad de radiación UV en el efluente es de 60% ya que, a pesar de que se trata de un efluente de baja concentración de SST, no es agua clara.

$$(46) \quad Dosis \, UV \left(\frac{mJ}{cm^2} \right) = 720 = Intensidad \left(\frac{mW}{cm^2} \right) * \frac{tiempo \, de \, retención \, (s)}{Transmisividad \, UV}$$

$$(47) \quad Intensidad \left(\frac{mW}{cm^2} \right) = 720 \frac{mJ}{cm^2} * \frac{0,6}{50 \, s} = 8,64$$

Las lámparas UV elegidas son del tipo Low Pressure (LP) utilizadas para desinfección (UVC LP) que operan en la longitud de onda de 253,7 nm para tal propósito. Se propuso un modelo de referencia Philips DynaPower System tipo 335W XPT HO SE de irradiancia 1,085 mW/cm². Las mismas tienen aplicación en tratamientos de aguas municipales y efluentes industriales. Se instalarán 8 para alcanzar la dosis requerida y deberá tenerse en reserva para su recambio al menos dos lámparas.

Tabla XXXIX: Detalles de las lámparas de la Cámara UV.

LÁMPARAS UV	
Dosis de UV (mJ/cm ²)	720
Transmisividad de UV	0,60
Intensidad req. (mW/cm ²)	8,64
Modelo	Philips DynaPower System tipo 335W XPT HO SE
Irradiancia lámpara (mW/cm ²)	1,085
N° de lámparas requeridas	8,0
Largo útil (m)	1,40
Largo total (m)	1,51
Diámetro (m)	0,03
Volumen lámparas (m ³)	0,01
Área lámparas (m ²)	0,01
Conexión	1 puerto

La unidad de tratamiento UV podrá ser fabricada por un proveedor utilizando otras lámparas siempre que se respete la fluencia de 720 mJ/cm² y la longitud de onda. Se contará con una cabina de control comandada por un PLC (controlador lógico programable) programada para esta unidad.

Tratamiento de lodos

El tratamiento y disposición de los lodos se encuentran fuera de los objetivos del presente proyecto ya que su manejo estará tercerizado. A fines de reducir los costos de transporte y disposición, se estabilizarán los lodos por adición de álcali y se deshidratarán utilizando un filtro prensa.

Almacenamiento, acondicionamiento y estabilización

Los lodos serán bombeados hasta un tanque de almacenamiento de 2,7 m³. Se calculó el volumen de lodos generados por la planta y se estimó el volumen de sólidos suponiendo que las unidades como el tamiz y la DAF generan lodos con un 1% y un 3% de sólidos, respectivamente. Los lodos producidos en el tamiz serán trasladados y depositados en el contenedor de forma manual dada la pequeña producción. La producción en la unidad DAF podrá ser bombeada cada 24 hs por la capacidad de almacenamiento de la misma.

Se diseñó la cámara de almacenamiento de lodos sin tratar para que pueda almacenar la producción de 30 horas. Se adicionará suficiente cal para elevar el pH a 12 y evitar la

atracción de vectores y proliferación de patógenos, y reducir olores. El tiempo de contacto será de al menos 2 h y se adicionará un 10% del peso de los lodos de cal (aproximadamente 8 kg cal viva/d). A su vez, la adición de cal mejorará las características del lodo para su posterior deshidratación.

Deshidratación

Para la selección del equipo deshidratador (el filtro prensa) se calculó el volumen de residuos se genera por hora y, a partir de eso, la capacidad de volumen de torta que debería tener el filtro prensa. Si bien se podría realizar el filtrado a cada hora, se decidió que el mismo se realizará cada aproximadamente 24 horas por cuestiones de practicidad para el operador y para aprovechar la capacidad del equipo. El filtro prensa elegido es el de la marca Diemme Filtration modelo KE500 semiautomático.

Tabla XL: Cálculos de la generación de lodos y torta de sólidos post filtración.

LODOS	
Volumen total horario (m3/h)	0,09
Volumen sólidos secos (m3/h)	0,003
Volumen sólidos secos (L/h)	2,7
Volumen torta diario (L/d)	65,2
Filtro prensa	Diemme Filtration - KE500
Rango volumen torta (L)	60-250



Figura 27: Fotografía del filtro prensa Diemme modelo KE500 semiautomático. Fuente: Diemme Filtration.

La torta del filtro prensa se descargará en una bandeja y posteriormente en un contenedor que guardará los sólidos de una semana para su recolección, tratamiento y disposición correspondientes.

El líquido filtrado es recirculado a la planta de tratamiento. Si bien su caudal no es significativo, el mismo está contemplado en los cálculos al contemplar las revanchas.

Tabla XLI: Diseño de la cámara de lodos y del contenedor de sólidos.

CÁMARA DE LODOS	
Volumen total horario (m ³ /h)	0,09
Capacidad de almacenamiento (m ³)	2,7
Diámetro (m)	1,5
Altura (m)	1,5
CONTENEDOR DE SÓLIDOS A DISPONER	
Capacidad de almacenamiento (m ³)	0,456
Altura (m) +20% revancha	0,55
Largo (m)	1
Ancho (m)	1

Cámara de toma de muestra y medición de caudales

El diseño de la cámara se realizó respetando lo establecido por la normativa para caudales menores a 25 m³/h. A continuación, se muestran las dimensiones de la cámara correspondientes al Anexo de la Resolución 607/12.

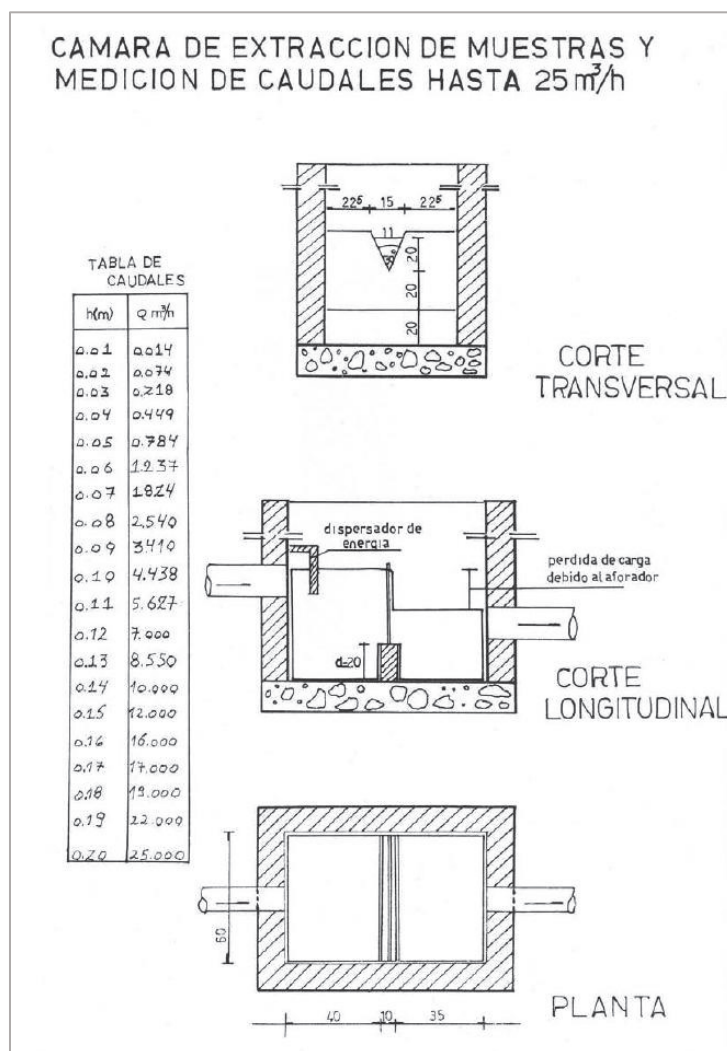


Figura 28: Dimensiones cámara toma de muestra y medición de caudales. Fuente: Anexo Resolución 607/12.

Sistema de conducción

El sistema de conducción está compuesto por las cañerías y los accesorios necesarios. El diseño se realizó teniendo como objetivo principal utilizar las menores longitudes de cañerías posibles para cada tramo, así como también la menor cantidad de giros. Por otro lado, la disposición de las unidades de la planta se proyectó de manera que la conducción del líquido se de por gravedad en todos los casos en que esto era posible de aprovechar. En aquellos tramos donde esto no fue posible, el fluido es transportado a presión.

Una vez que el líquido llega al tanque de bombeo por la cloaca, el mismo es bombeado a una altura suficiente para que continúe el recorrido por el tren de tratamiento utilizando su

energía potencial. Las unidades se encuentran elevadas o enterradas para aprovechar el escurrimiento por gravedad.

Para los cálculos del diseño del sistema de conducción se asumió un fluido no viscoso, incompresible e irrotacional de flujo turbulento desarrollado a lo largo de toda la tubería bajo régimen de estado estacionario.

En cuanto a las velocidades recomendadas en la bibliografía, estas se encuentran en el rango de 0,6-3 m/s para flujo por gravedad de aguas residuales en cañerías y 1-2 m/s para fluidos impulsados, de manera de evitar deposición de sólidos en la cañería o incrementar excesivamente la pérdida de carga.

Se identificaron todos los tramos de conducción de la planta y se calcularon sus diámetros según si el flujo se conduce por gravedad o por impulsión con bombas. Aquellas conducciones de procesos complementarios que no figuran en la tabla son incluidas por el proveedor al momento de adquirir los equipos.

Tabla XLII: Tramos de conducción del sistema de cañerías.

SISTEMA DE CAÑERÍAS	
TRAMO	ENERGÍA
1 - Ecualizador a Tamiz	Bomba
2- Tamiz a Mezclador Estático	Gravedad
3- Mezclador Estático a Floculador	Gravedad
4 - Floculador a Cámara de Flotación	Bomba
4.1 - Cámara presurización a Cámara de Flotación	Ef. Presurizado
4.2- Recirculación Cámara de Flotación a Tanque de presurización	Bomba
4.3- Línea principal + Recirculación a Cámara de Flotación	Bomba
5- Cámara de Flotación a Tanque de contacto ozono	Gravedad
6- Tanque de contacto ozono a Cámara UV	Gravedad
7.1- Cámara de flotación a Cámara de Lodos	Bomba
7.2- Cámara de lodos a Filtro prensa	Bomba
7.3 Filtro prensa a tamiz	Bomba

Cabe aclarar que el tramo 4.1 no es impulsado por una bomba, sino que el efluente, al estar sobresaturado con aire, sale de la unidad presurizado. A fines prácticos, el estudio de ese tramo se realizó junto con las tuberías con flujo a presión.

Flujo por gravedad

Para una tubería de sección circular existen tres variables importantes: el diámetro (D), el tirante del líquido (y) y el ángulo interno (θ) que se forma entre el centro y el nivel del agua. A partir de estas variables se puede calcular el área mojada y el radio hidráulico.

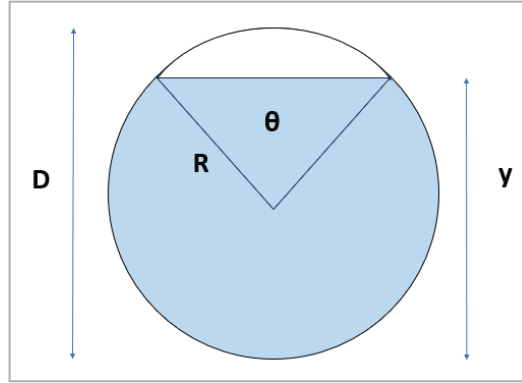


Figura 29: Variables que caracterizan a una tubería para su diseño.

$$(48) \quad A_{mojada} (m^2) = \frac{D^2}{8} * (\theta - \text{sen}(\theta))$$

$$(49) \quad Rh (m) = \frac{D * (\theta - \text{sen}(\theta))}{4 * \theta}$$

Para una relación y/D de 0,75, el ángulo que se forma es de $\frac{4}{3} \pi$.

$$(50) \quad \theta = 2 * \cos^{-1} \left(1 - 2 * \left(\frac{y}{D} \right) \right) = \frac{4}{3} \pi$$

Reemplazando el ángulo en las expresiones de área mojada y radio hidráulico se obtuvo:

$$(51) \quad A_{mojada} (m^2) = \frac{D^2}{8} * \left(\frac{4}{3} \pi - \text{sen} \left(\frac{4}{3} \pi \right) \right) = 0,6318 * D^2$$

$$(52) \quad Rh (m) = \frac{D * \left(\frac{4}{3} \pi - \text{sen} \left(\frac{4}{3} \pi \right) \right)}{4 * \frac{4}{3} \pi} = 0,3017 * D$$

A su vez,

$$(53) \quad A_{mojada} (m^2) = \frac{Q}{v}$$

Donde Q: caudal (m³/s); v: velocidad (m/s)

Se impuso una velocidad de 0,7 m/s y se calculó cuál debería ser el área mojada y, por consiguiente, el de las tuberías. Cabe destacar que todas las tuberías cuyo flujo va a gravedad deben soportar el caudal máximo de diseño de 23,16 m³/h.

$$(54) \quad A_{mojada} (m^2) = \frac{Q}{0,7 \frac{m}{s}} = 0,6318 * D^2$$

$$(55) \quad D = \sqrt{\frac{Q}{0,7 \frac{m}{s} * 0,6318}}$$

Se seleccionaron cañerías de PVC con diámetros nominales (DN) cercanos al diámetro calculado. En el caso de las conducciones donde se da un escurrimiento por gravedad, se adoptó una pendiente de 0,3%, el mínimo recomendado por ENOHSA.

Luego, se verificaron las velocidades del fluido en las cañerías de esas características utilizando la ecuación de Manning.

$$(56) \quad v(\frac{m}{s}) = \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde n: coeficiente de rugosidad de Manning (0,011 para PVC); S: pendiente de la tubería.

Las conducciones a gravedad serán tubos de PVC de la marca SIFFO modelo UPCV de diámetro nominal 160 mm y espesor 4 mm.

Tabla XLIII: Parámetros calculados para las cañerías con flujo a gravedad y verificación de velocidades para las tuberías seleccionadas.

SISTEMA DE CAÑERÍAS - FLUJO A GRAVEDAD									
TRAMO	ENERGÍA	Q (m ³ /h)	VELOCIDAD (m/s)	D INT CALCULADO (mm)	DN (mm)	D INT (mm)	RADIO HIDRÁULICO (m)	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD Manning (m/s)
2- Tamiz a Mezclador Estático	Gravedad	23,16	0,6	130	160	156	0,047	0,3%	0,65
3- Mezclador Estático a Floculador									
5- Cámara de Flotación a Tanque de contacto ozono									
6- Tanque de contacto ozono a Cámara UV									

Flujo a presión

Para las conducciones a presión, el diámetro de las cañerías necesarias se determinó en base al caudal y la velocidad, ya que estas trabajan a sección completa.

A partir de la ecuación de continuidad:

$$(57) \quad Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = A * v = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * v$$

Donde A: área mojada (m²); v: velocidad del fluido (m/s); D: diámetro de la tubería (m)

$$(58) \quad v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$(59) \quad D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Se propuso una velocidad de 1 m/s, se calcularon los diámetros correspondientes a cada caudal y se ajustaron a medidas comerciales. Finalmente, se verificó que las velocidades con los diámetros comerciales se encuentren dentro del rango recomendado de 1-2 m/s. Las tuberías serán las SIFFO UPCV aptas para flujos a presión.

Tabla XLIV: Parámetros calculados para las cañerías con flujo a presión y verificación de velocidades para las tuberías seleccionadas.

SISTEMA DE CAÑERÍAS - FLUJO A PRESIÓN								
TRAMO	ENERGÍA	Q (m ³ /h)	VELOCIDAD prop. (m/s)	D INT CALCULADO (mm)	D EXT (mm)	ESPESOR (mm)	D INT (mm)	VELOCIDAD verif. (m/s)
1 - Ecualizador a Tamiz	Bomba	23,16	1	91	90	2,8	87,2	1,1
4 - Floculador a Cámara de Flotación		23,16		91	90	2,8	87,2	1,1
4.1 - Cámara presurización a Cámara de Flotación		3,47		35	32	2	30	1,4
4.2- Recirculación Cámara de Flotación a Tanque de presurización		3,47		35	32	2	30	1,4
4.3- Línea principal + Recirculación a Cámara de Flotación		26,63		97	90	2,8	87,2	1,2
7.1- Cámara de flotación a Cámara de Lodos		2,16		28	25	2	23	1,4
7.2- Cámara de lodos a Filtro prensa		2,16		28	25	2	23	1,4
7.3 Filtro prensa a tamiz		2,14		28	25	2	23	1,4

Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga en tuberías son la pérdida de presión o energía que experimenta un fluido al moverse a través de una tubería. Estas pérdidas se deben principalmente a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería, así como a obstáculos y cambios de dirección en el flujo.

En el caso de cañerías cortas, pocos accesorios y flujos menores a 1 m/s las pérdidas de carga pueden considerarse despreciables. En el caso de las tuberías con flujo a gravedad

del presente proyecto, la pérdida de carga asociada a la longitud del caño se verificó que es despreciable por lo que dependerá exclusivamente de los accesorios que se instalen en el trayecto.

Para calcular las pérdidas de carga debido a la longitud en tuberías completamente llenas, se utiliza principalmente la ecuación de Darcy-Weisbach. Esta fórmula puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo ser correctamente calculado el factor de fricción dependiendo de cada situación.

$$(60) \quad h_f(m): f * \frac{L}{D} * \frac{u^2}{2g}$$

Donde h_f : pérdida de carga; f : factor de fricción; L : longitud de la tubería (m); D : diámetro interno de la tubería (m); u : velocidad media del fluido (m/s); g : aceleración de la gravedad (m/s²)

Para determinar el factor de fricción se utilizó el diagrama de Moody, el cual relaciona el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa (k/D), además de calcularlo con la ecuación de Colebrook para tuberías lisas y flujo turbulento.

$$(61) \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 1,8 * \log \left(\frac{Re}{7} \right)$$

El número de Reynolds para el flujo en cada tubería a presión se calculó considerando las características de un fluido similar al agua a 20°C a partir de la ecuación:

$$(62) \quad Re = \frac{\rho * u * D}{\mu}$$

Donde ρ : densidad del fluido (kg/m³); μ : viscosidad dinámica del fluido (Pa*s)

La rugosidad relativa para el diagrama de Moody se calculó a partir del diámetro de cada tubería y la rugosidad absoluta (k) para los caños de pvc, cuyo valor es de $k=0,0015\text{mm}$.

Por otro lado, para calcular las pérdidas de carga localizadas (por accesorios) para todas las cañerías, a presión y por gravedad:

$$(63) \quad h_v(m): K * \frac{u^2}{2g}$$

Donde hv: pérdida de carga localizada; K: coeficiente empírico determinado para el accesorio

Se consideraron los accesorios de cada tramo como válvulas, codos y expansiones y compresiones bruscas.

Tabla XLV: Accesorios de cada tramo y su correspondiente coeficiente K.

SISTEMA DE CAÑERÍAS			
TRAMO	ENERGÍA	ACCESORIOS	K
1 - Ecuallizador a Tamiz	Bomba	Conexión cañería 0,087 m a brida bomba 2"	0,33
		Codo 90° x2	1,4
		Válvula compuerta	0,15
		Conexión cañería 0,087 m ingreso a tamiz 4"	0,07
2- Tamiz a Mezclador Estático	Gravedad	Conexión egreso 6" a cañería 0,087 m	0,34
		Válvula compuerta	0,15
		Conexión cañería 0,087 m a mezclador 0,078 m	0,10
3- Mezclador Estático a Floculador	Gravedad	Conexión mezclador 0,078 a cañería 0,150 m	0,53
4 - Floculador a Cámara de Flotación	Bomba	Codo 90° x2	1,4
		Válvula compuerta	0,15
		Conexión cañería 0,087 m con brida bomba	0,10
		Codo en T	0,4
4.1 - Cámara presurización a Cámara de Flotación	Bomba	Válvula control de presión	2
		Conexión cañería 0,03 m a brida bomba 1"	0,15
		Válvula antiretorno	0,1
		Codo 90° x2	1,4
4.2- Recirculación Cámara de Flotación a Tanque de presurización	Bomba	Conexión cañería 0,087 a cañería 0,03 m	0,44
		Válvula compuerta	0,15
		Codo 90°	0,7
4.3- Línea principal + Recirculación a Cámara de Flotación	Bomba	Válvula antiretorno	0,1
5- Cámara de Flotación a Tanque de contacto ozono	Gravedad	Codo en T	0,4
		Válvula compuerta	0,15
6- Tanque de contacto ozono a Cámara UV	Gravedad	Válvula compuerta	0,15
7.1- Cámara de flotación a Cámara de Lodos	Bomba	Conexión cañería 0,023 a brida bomba	0,10
		Codo 90° x2	1,4
		Válvula compuerta	0,15
7.2- Cámara de lodos a Filtro prensa	Bomba	Conexión cañería 0,023 a brida bomba	0,10
		Codo 90° x2	1,4
		Válvula compuerta	0,15
7.3 Filtro prensa a tamiz	Bomba	Conexión cañería 0,023 a brida bomba	0,10
		Codo 90° x4	2,8
		Válvula compuerta	0,15
		Codo en T	0,4

Tabla XLVI: Pérdidas de carga en tuberías con flujo a gravedad.

PÉRDIDAS DE CARGA SISTEMA DE TUBERÍAS A GRAVEDAD												
TRAMO	LONGITUD (m)	D INT (m)	VELOCIDAD verif. (m/s)	DENSIDAD (kg/m3)	VISCOSIDAD DINÁMICA (Pa*s)	N° DE REYNOLDS (Re)	FACTOR DE FRICCIÓN COLEBROOK (f)	k/D	PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍA (hf, m)	K ACCS.	PÉRDIDA DE CARGA POR ACCS. (hv, m)	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL (m)
2- Tamiz a Mezclador Estático	1								0,002458	0,59	0,01	0,02
3- Mezclador Estático a Floculador	1								0,002458	0,53	0,01	0,01
5- Cámara de Flotación a Tanque de contacto ozono	2	0,156	0,65	998,29	0,001	101084	0,018	9,6E-06	0,004916	0,55	0,01	0,02
6- Tanque de contacto ozono a Cámara UV	2								0,004916	0,15	0,003	0,008

Tabla XLVII: Pérdidas de carga en tuberías a presión.

PÉRDIDAS DE CARGA SISTEMA DE TUBERÍAS A PRESIÓN												
TRAMO	LONGITUD (m)	D INT (m)	VELOCIDAD verif. (m/s)	DENSIDAD (kg/m³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (Pa*s)	N° DE REYNOLDS (Re)	FACTOR DE FRICCIÓN COLEBROOK (f)	k/D	PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍA (hf, m)	K ACCS.	PÉRDIDA DE CARGA POR ACCS. (hv, m)	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL (m)
1 - Ecualizador a Tamiz	3,5	0,087	1,1			93775	0,018	1,7E-05	0,04	1,95	0,12	0,16
4 - Floculador a Cámara de Flotación	3	0,087	1,1			95756	0,018	1,7E-05	0,04	2,05	0,13	0,16
4.1 - Cámara presurización a Cámara de Flotación	3	0,030	1,4			40886	0,022	5,0E-05	0,21	3,65	0,35	0,55
4.2- Recirculación Cámara de Flotación a Tanque de presurización	6	0,030	1,4			40886	0,022	5,0E-05	0,41	1,29	0,12	0,54
4.3- Línea principal + Recirculación a Cámara de Flotación	1	0,087	1,2	998,29	0,001	104461	0,018	1,7E-05	0,01	0,10	0,01	0,02
7.1- Cámara de flotación a Cámara de Lodos	13	0,023	1,4			33158	0,023	6,5E-05	1,37	1,65	0,18	1,55
7.2- Cámara de lodos a Filtro prensa	1	0,023	1,4			33158	0,023	6,5E-05	0,11	1,55	0,16	0,27
7.3 Filtro prensa a tamiz	4	0,023	1,4			32827	0,023	6,5E-05	0,42	3,45	0,36	0,77

Sistema de bombeo

Para elegir la bomba que cumpla con las condiciones de caudal a erogar en cada tramo se llevó a cabo el análisis de las curvas características de los posibles modelos de manera de seleccionar aquella que cumpla con el caudal necesario y la altura disponible.

Las bombas de los tramos que no figuran en la tabla, como por ejemplo el 4.2, o la dosificadora de coagulante, se pueden encontrar en su sección correspondiente donde fue diseñada la unidad.

Se priorizó la elección de un solo proveedor que pudiera abastecer de todas las bombas necesarias para el proyecto de modo de simplificar las cuestiones de logística. En este caso, el proveedor es Bombas Hasa.

Para el bombeo de efluente se seleccionaron electrobombas serie SRI construidas totalmente en acero inoxidable AISI 316 adecuadas para el tratamiento de aguas industriales y cloacales, y en general todo tipo de líquidos con partículas en suspensión. Para los lodos se eligieron electrobombas serie IPX totalmente en acero inoxidable ideales para la evacuación de lodos, gracias a su turbina tipo vortex con gran distancia para el paso de sólidos.

En el anexo se encuentran las fichas técnicas de todos los modelos de bombas elegidos, con sus respectivas curvas y datos.

Tabla XLVIII: Equipos de bombeo elegidos para cada tramo.

SISTEMA DE BOMBEO						
TRAMO	MARCA BOMBA	MODELO BOMBA	CAUDAL A IMPULSAR (m3/h)	CAUDAL SUMINISTRADO (m3/h)	POTENCIA (kW)	NºDE EQUIPOS
1 - Ecualizador a Tamiz	Hasa	SRI - 2	23,16	27	1,5	2
4 - Floculador a Cámara de Flotación / 4.3- Línea principal + Recirculación a Cámara de Flotación	Hasa	SRI - 2	26,63	33	1,5	1
7.1- Cámara de flotación a Cámara de Lodos	Hasa	IPX - 1A	2,16	3	0,77	1
7.2- Cámara de lodos a Filtro prensa			2,16			1
7.3 Filtro prensa a tamiz			2,14			1

Capítulo VII – Cómputos y presupuesto

Se presenta el cómputo de todos los componentes a ser analizados para brindar un presupuesto estimado del proyecto en su totalidad. Se analizaron los costos de inversión, así como también aquellos correspondientes a la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento una vez puesta en marcha.

Dentro de los costos de inversión se contemplaron todas las tareas a llevar a cabo durante la etapa constructiva, los materiales y equipos requeridos, la mano de obra, las instalaciones y los honorarios por la formulación y gestión del proyecto.

Los costos de operación y mantenimiento son informados en términos de gasto mensual y contemplan la compra de insumos químicos, el consumo energético, los recursos humanos, la gestión de los lodos y las tareas de mantenimiento.

Tabla XLIX: Resumen del presupuesto estimado. Contempla costos de inversión y costos de operación y mantenimiento mensuales. Los montos se expresan en pesos argentinos (ARS) y en dólares (USD) según tipo de cambio oficial TC: ARS 1280 a septiembre de 2024.

PRESUPUESTO			
CONCEPTO	UNIDAD	VALOR	TC ARS 1280
Costo total de Inversión	ARS	\$ 657.853.823,31	USD 513.948,30
Costo de Operación y Mantenimiento	ARS/mes	\$ 11.130.267,64	USD 8.695,52

A continuación, se presentan los partidímetros correspondientes con los detalles de los ítems considerados. Los montos se expresan en pesos argentinos (ARS) y el tipo de cambio a dólar oficial a septiembre de 2024 (momento en el que fue realizado el cómputo) es de USD 1 = ARS 1280.

Costos de Inversión

Los costos asociados a la inversión corresponden a ARS 657.853.823,31 (PESOS ARGENTINOS SEISCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MILLONES OCHOCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL OCHOCIENTOS VEINTITRÉS CON TREINTA Y ÚN CENTAVOS).

Tabla L: Partidímetro de la obra. Costos de Inversión.

Rubro	Item	Descripción	Unidad	Costo unitario (ARS)	Cantidad	Subtotal (ARS)	Costo total del Rubro (ARS)
1		Movimientos de suelo					\$ 1.194.609,65
	1.1	Excavación a cielo abierto con medios manuales para enterramiento de unidades	m3	\$ 15.546,89	15	\$ 233.203,35	
	1.2	Excavación a cielo abierto con medios manuales para conducciones	m3	\$ 15.546,89	5	\$ 77.734,45	
	1.3	Relleno localizado con tierra de la propia excavación	m3	\$ 3.996,47	5	\$ 19.982,35	
	1.4	Acometida general de saneamiento	m	\$ 28.789,65	30	\$ 863.689,50	
2		Fundaciones					\$ 1.619.069,50
	2.1	Hormigón para armar en plateas de fundación, H-21, preparado en obra, y colado con medios manuales. 500 m2 x 0,1 m de espesor.	m3	\$ 32.381,39	50	\$ 1.619.069,50	
3		Estructuras					\$ 7.188.608,20
	3.1	Hormigón para tanque de floculación	m3	\$ 80.856,32	3	\$ 242.568,96	
	3.2	Hormigón para tanque de ozonización	m3	\$ 80.856,32	5	\$ 404.281,60	
	3.2	Hormigón para cámara de muestra	m3	\$ 80.856,32	2	\$ 161.712,64	
	3.4	Muro portante de mampostería compuesta, de bloque de hormigón	m2	\$ 12.760,09	500	\$ 6.380.045,00	
4		Carpintería, herrería y vidrios					\$ 73.559,59
	4.1	Puerta acústica, de acero	U	\$ 24.049,67	2	\$ 48.099,34	
	4.2	Luna de vidrio simple	m2	\$ 5.092,05	5	\$ 25.460,25	

5	Equipos y unidades de tratamiento						\$	626.757.569,37
	5.1	Estación de bombeo prefabricada	U	\$	1.876.449,37	1	\$	1.876.449,37
	5.2	Aireador a chorro sumergible	U	\$	510.720,00	1	\$	510.720,00
	5.3	Tamiz rotativo	U	\$	24.007.680,00	1	\$	24.007.680,00
	5.4	Mezclador estático	U	\$	7.398.400,00	5	\$	36.992.000,00
	5.5	Bomba dosificadora de reactivos	U	\$	250.000,00	2	\$	500.000,00
	5.6	Turbina para floculación	U	\$	448.000,00	1	\$	448.000,00
	5.7	Cámara de contacto DAF	U	\$	453.120.000,00	1	\$	453.120.000,00
	5.8	Sistema de recirculación DAF	U	\$	57.600.000,00	1	\$	57.600.000,00
	5.9	Generador de ozono (1 kg/h)	U	\$	32.000.000,00	1	\$	32.000.000,00
	5.10	Concentrador de oxígeno	U	\$	2.560.000,00	1	\$	2.560.000,00
	5.11	Difusor de cerámica	U	\$	4.480,00	8	\$	35.840,00
	5.12	Destructor de ozono	U	\$	128.000,00	1	\$	128.000,00
	5.13	Unidad de tratamiento UV	U	\$	1.920.000,00	1	\$	1.920.000,00
	5.14	Filtro prensa	U	\$	1.536.000,00	1	\$	1.536.000,00
	5.15	Bomba sumergible SRI	U	\$	1.457.920,00	4	\$	5.831.680,00
	5.16	Bomba de lodos IPX	U	\$	1.772.800,00	4	\$	7.091.200,00
	5.17	Contenedor de residuos/lodos	U	\$	300.000,00	2	\$	600.000,00

6	Sistema de cañerías							\$	1.074.039,00
6.1	Provisión e instalación de cañería DN 25	m	\$	1.145,00	20	\$	22.900,00		
6.2	Provisión e instalación de cañería DN 32	m	\$	3.263,00	10	\$	32.630,00		
6.3	Provisión e instalación de cañería DN 90	m	\$	11.071,00	8	\$	88.568,00		
6.4	Provisión e instalación de cañería DN 160	m	\$	20.833,00	7	\$	145.831,00		
6.5	Caudalímetro	U	\$	152.000,00	1	\$	152.000,00		
6.6	Codo 90°	U	\$	2.000,00	15	\$	30.000,00		
6.7	Codo en T	U	\$	2.560,00	5	\$	12.800,00		
6.8	Válvula compuerta	U	\$	45.000,00	10	\$	450.000,00		
6.9	Válvula antiretorno	U	\$	48.205,00	2	\$	96.410,00		
6.10	Conexión - Reducción/expansión	U	\$	3.575,00	12	\$	42.900,00		
7	Instalaciones							\$	4.206.368,00
7.1	Provisión y montaje para tablero eléctrico	gl	\$	503.040,00	1	\$	503.040,00		
7.2	Provisión y montaje de sistema de automatización	gl	\$	3.594.240,00	1	\$	3.594.240,00		
7.3	Luminaria	un	\$	15.584,00	7	\$	109.088,00		

8	Puesta en marcha						\$	2.240.000,00
	8.1	Puesta en marcha	gl	\$	1.280.000,00	1	\$	1.280.000,00
	8.2	Revisión y ajustes	gl	\$	960.000,00	1	\$	960.000,00
9	Honorarios						\$	13.500.000,00
	9.1	Formulación y gestión del proyecto	gl	\$	4.000.000,00	1	\$	4.000.000,00
	9.2	Estudio de Impacto Ambiental	gl	\$	500.000,00	1	\$	500.000,00
	9.3	Dirección de obra	gl	\$	3.000.000,00	1	\$	3.000.000,00
	9.4	Mano de obra	gl	\$	6.000.000,00	1	\$	6.000.000,00
	Costo Total (ARS)						\$	657.853.823,31

Los costos asignados a los ítems correspondientes a los rubros 1, 2, 3 y 4 fueron extraídos del Generador de precios Argentina de CYPE Ingenieros S.A. (software para arquitectura, ingeniería y construcción). El costo de cada equipo/unidad de tratamiento se obtuvo de cotizaciones realizadas por los proveedores, publicaciones en la web de proveedores nacionales e internacionales y comparación de ofertas disponibles en el mercado.

Los honorarios se definieron con base en los honorarios mínimos según la complejidad de la tarea a realizar tomando como referencia los valores solicitados por profesionales del área.

Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos mensuales correspondientes a la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento son de ARS 11.130.267,64 (PESOS ARGENTINOS ONCE MILLONES CIENTO TREINTA MIL DOSCIENTOS SESENTA Y SIETE CON SESENTA Y CUATRO CENTAVOS).

Consumo energético

Dadas las características de esta planta de tratamiento y su eje en la implementación de procesos no convencionales, el consumo energético es un punto importante a evaluar dentro de los costos de operación debido al uso de tecnología de punta. Se detallan, a continuación, todos los parámetros contemplados para el cálculo del consumo. En primer lugar, se detalló la potencia requerida para cada unidad, lo cual indicó la potencia adicional que deberá contratarse, si es que se encuentra por arriba de la actual con la que ya cuenta el establecimiento. Por otra parte, se evaluó la cantidad de horas que funcionará cada equipo y en qué franja horaria, ya que de esto dependerán los cargos variables.

Tabla LI: Consumo energético de la planta de tratamiento. Detalle de los equipos, sus potencias (kW) y su uso diario (kWh).

CONSUMO ENERGÉTICO										
Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Uso diario (hs)			Requerimiento total (kWh/mes)				
			Pico	Resto	Valle	Pico	Resto	Valle	Total	
Aireador a chorro sumergible	1	0,40	5	10	9	60	120	108	288	
Tamiz rotativo	1	0,33	4	4	4	39,6	39,6	39,6	118,8	
Bomba dosificadora de reactivos	1	0,15	5	7	6	22,5	31,5	27	81	
Turbina para floculación	1	0,55	5	10	9	82,5	165	148,5	396	
Compresor unidad DAF	1	2,27	5	10	9	340,5	681	612,9	1634,4	
Bomba del sistema de recirculación unidad DAF	1	18,92	5	10	9	2838	5676	5108,4	13622,4	
Generador de ozono (1 kg/h)	1	10,00	5	10	9	1500	3000	2700	7200	
Concentrador de oxígeno	1	0,50	5	10	9	75	150	135	360	
Lámparas UV	8	0,34	5	9	10	408	734,4	816	1958,4	
Filtro prensa	1	1,00	0	1	0	0	30	0	30	
Bomba sumergible SRI	3	1,50	5	5	5	675	675	675	2025	
Bomba de lodos IPX	3	0,77	0	2	0	0	138,6	0	138,6	
Potencia demandada por la Planta de Tratamiento (kW)		36,73	Consumos totales (kWh/mes)			6041,1	11441,1	10370,4	27852,6	

Los costos calculados se basan en el régimen tarifario de la empresa prestadora EDESUR aprobado para septiembre del año 2024. Se estima que el establecimiento pertenece a la categoría Tarifa 3 – Grandes demandas con una potencia media contratada.

Tabla LII: Cuadro tarifario de EDESUR al 9/2024 para la categoría T3 Media potencia contratada. En celeste los cargos fijos relacionados con la potencia; en amarillo los cargos variables relacionados con el consumo eléctrico.

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR	COSTO MENSUAL
Cargo por Potencia Contratada	\$/kW-mes	\$ 3.035,30	\$ 111.486,57
Cargo por Potencia Adquirida	\$/kW-mes	\$2.841,56	\$ 104.370,50
Cargo Variable Pico	\$/kWh	\$ 73,51	\$ 444.075,22
Cargo Variable Resto	\$/kWh	\$ 71,06	\$ 812.947,36
Cargo Variable Valle	\$/kWh	\$ 69,65	\$ 722.287,99
Costo total mensual (ARS)			\$ 2.195.167,64

Según el cuadro tarifario, corresponde el cobro de cargos por potencia (en celeste) y cargos por consumo eléctrico (en amarillo). Los primeros son cargos fijos y dependen de la potencia que ha sido contratada por el hospital, según el análisis energético, así como también de la potencia efectivamente demandada (potencia adquirida). Los cargos por consumo eléctrico son los cargos variables y se distinguen por la cantidad de tiempo de uso de un equipo y la franja horaria en la que ha sido efectuado ese consumo.

A fines de evaluar los costos energéticos agregados por la actividad de la planta, solo se consideraron los consumos extra que esta adiciona. Es decir, se evalúa qué costo de la potencia contratada y adquirida corresponden únicamente a la planta de tratamiento. Es menester que el establecimiento reevalúe su consumo energético ahora incluida la planta, por si fuese necesario contratar una mayor

potencia de manera de evitar multas por potencia excedida. Asimismo, esta reevaluación permitirá ajustar los parámetros de potencia contratada y adquirida para que ambas sean lo más cercanas posible, lo cual se traduce en un uso eficiente de la energía y el dinero.

Otros costos de operación y mantenimiento

Se analizó el costo de los insumos químicos, los cuales son esenciales para el proceso de tratamiento. Se incluyó el transporte, tratamiento y disposición final de los lodos, considerados residuos patógenicos por sus características. Se contemplaron los costos por salarios del personal a cargo de la operación de la planta y gastos debido a tareas de mantenimiento e imprevistos.

Tabla LIII: Costos de operación y mantenimiento mensuales. Los ítems con asterisco (*) significan que no necesariamente se adquieren todos los meses o que se compran una vez al año.

Rubro	Item	Descripción	Unidad	Costo unitario (ARS)	Cantidad	Subtotal (ARS)	Costo total del Rubro (ARS)
1			Insumos químicos				\$ 3.215.100,00
	1.1	Sulfato de Aluminio - Coagulante	kg/mes	\$ 512,00	5280	\$ 2.703.360,00	
*	1.2	Catalizador a base de dióxido de manganeso - Destructor de O3	kg/mes	\$ 32.000,00	0,33	\$ 10.560,00	
	1.3	Cal viva (x 25 kg)	U/mes	\$ 19.000,00	10	\$ 190.000,00	
*	1.4	NaOH	kg/mes	\$ 9.048,00	10	\$ 90.480,00	
*	1.5	HCl	L/mes	\$ 2.207,00	100	\$ 220.700,00	
2			Consumo Energético				\$ 2.195.167,64
	2.1	Cargo por Potencia Contratada	\$/kW-mes	\$ 3.035,30	36,73	\$ 111.486,57	
	2.2	Cargo por Potencia Adquirida	\$/kW-mes	\$ 2.841,56	36,73	\$ 104.370,50	
	2.3	Cargo Variable Pico	\$/kWh	\$ 73,51	6041,1	\$ 444.075,22	
	2.4	Cargo Variable Resto	\$/kWh	\$ 71,06	11441,1	\$ 812.947,36	
	2.5	Cargo Variable Valle	\$/kWh	\$ 69,65	10370,4	\$ 722.287,99	

3	Recursos Humanos						\$	4.000.000,00
	3.1	Jefa/e de Planta	U/mes	\$	2.000.000,00	1	\$	2.000.000,00
	3.2	Operario de Planta	U/mes	\$	1.000.000,00	2	\$	2.000.000,00
4	Gestión de lodos						\$	120.000,00
	4.1	Transporte, tratamiento y disposición de los residuos patogénicos.	m3/mes	\$	60.000,00	2	\$	120.000,00
5	Mantenimiento						\$	1.600.000,00
	5.1	Tareas de mantenimiento general	gl	\$	800.000,00	1	\$	800.000,00
	5.2	Imprevistos	gl	\$	800.000,00	1	\$	800.000,00
	Costo Total (ARS)						\$	11.130.267,64

Financiamiento

Debido a que se trata de una planta de tratamiento que no es exigida por la normativa, se recomienda la búsqueda de entidades con interés en financiar este tipo de proyectos. El objetivo principal de esta planta de tratamiento es la mejora de la salud humana y del ambiente, poniendo el foco en un tema de vanguardia científica de gran relevancia. A pesar de no estar regulados por la ley aún, el avance y desarrollo de soluciones sostenibles a temas ambientales como los contaminantes de preocupación emergente son prioritarios y están en la agenda de reconocidos organismos internacionales de crédito.

En el marco de la agenda internacional sobre productos químicos y desechos, existen diversos mecanismos de financiamiento para asistir a los países en desarrollo en la implementación de los compromisos asumidos internacionalmente. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ejecuta estos financiamientos con la colaboración de agencias de implementación tales como la Oficina Nacional del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (Web del Gobierno de la Nación, 2024).

Capítulo VIII – Planos del proyecto

Se adjuntan en el Anexo los planos correspondientes:

1. PTHEP-LAY-01: Layout de la planta de tratamiento.
2. PTHEP-PHID-01: Perfil hidráulico.
3. PTHEP-UP-01: Unidad de Proceso 1 – Tanque ecualizador.
4. PTHEP-UP-02: Unidad de Proceso 2 – Tamiz rotativo.
5. PTHEP-UP-03: Unidad de Proceso 3 – Mezclador estático y tanque de floculación.
6. PTHEP-UP-04: Unidad de Proceso 4 – DAF.
7. PTHEP-UP-05: Unidad de Proceso 5 – Sistema de ozonización.
8. PTHEP-UP-06: Unidad de Proceso 6 – Cámara UV.
9. PTHEP-UP-07: Unidad de Proceso 7 – Acondicionamiento y deshidratación de lodos.
10. PTHEP-LAY-02: Layout de la planta / Implantación en el terreno.

Capítulo IX – Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)

Resumen ejecutivo

El presente documento es el Estudio de Impacto Ambiental correspondiente al proyecto *Nueva planta de tratamiento de efluentes cloacales del Hospital Interzonal “Evita Pueblo” de Berazategui*, para la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental por parte de la Autoridad de Aplicación según Ley Provincial N°11.723 y el Certificado de Aptitud Ambiental según Ley Provincial N°11.459, y sus respectivos decretos reglamentarios.

Se prevé la construcción de una planta de tratamiento de los efluentes cloacales del Hospital Interzonal General de Agudos “Evita Pueblo” en la localidad de Berazategui. Con la construcción y puesta en marcha de la planta se tiene como objetivo remover contaminantes de preocupación emergente a niveles recomendados por reconocidas instituciones internacionales, previo a que los efluentes sean volcados a la red cloacal.

La nueva planta de tratamiento de efluentes líquidos se emplazará en la ciudad de Berazategui, provincia de Buenos Aires. El predio se ubica en la calle 136 e/27 y 28 (34°46'53" S; 58°12'43,87" O) con frente en calle 136. El uso de suelo del predio está categorizado como “uso especial” y los terrenos lindantes pertenecen todos a “uso residencial” según el código de zonificación de la ciudad.

En cuanto a la línea de base ambiental, el espacio seleccionado cuenta con las condiciones aptas para el desarrollo del proyecto desde el punto de vista ambiental, sin presentar impactos ambientales negativos significativos, siempre y cuando se respeten e implementen las medidas propuestas. Es importante destacar que ya se encuentra en funcionamiento desde hace varios años el Hospital Evita Pueblo con un desempeño ambiental correcto, siendo este proyecto una ampliación de este, bajo la dirección de los mismos responsables (Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires).

Los impactos más relevantes se dan en la etapa constructiva, específicamente durante la sistematización del terreno y la construcción de la infraestructura. Se centran, principalmente, en la generación de ruidos, pérdida de las propiedades del suelo y afectación de la cobertura vegetal. Además, el impacto en la fauna también es considerable, sin embargo, este impacto es completamente reversible una vez que terminen los trabajos de construcción. Por otro lado, la calidad del aire es un factor susceptible a ser afectado si no se toman las medidas pertinentes.

La dirección del viento es contraria a los principales centros educativos, pero, al estar ubicado en zona residencial, el monitoreo de la calidad del aire, ruidos y olores debe ser prioritario. Si bien el terreno no posee pendiente, el riesgo de inundación es mínimo. Sin embargo, se recomienda que la plataforma sobre la que se construya la planta se encuentre elevada.

Como parte de este documento se incluye el Plan de Gestión Ambiental donde se establecen las medidas preventivas, de mitigación, control y compensación para los impactos ambientales identificados y evaluados. Dentro de las medidas más relevantes se encuentran: la sistematización del terreno y excavaciones respetando, dentro de lo posible, los horizontes originales del suelo al rellenar; la planificación de los trabajos con ruidos molestos en horarios diurnos; las buenas prácticas durante la construcción para evitar la dispersión de material particulado; la insonorización de equipos ruidosos; la implementación de tecnologías de control de emisiones gaseosas; y la correcta gestión de los residuos generados, entre otras.

En cuanto a los impactos positivos, la contribución a la mejora de la salubridad ambiental y de la población es de gran importancia al obtener un efluente de mejor calidad. También se generarán nuevos puestos de trabajo.

Asimismo, el Plan de Gestión Ambiental se compone de Programas de Monitoreo Ambiental, de Contingencias, de Seguridad e Higiene y de Capacitación que deben ser complementados y detallados por el área de ambiente y el responsable de seguridad e higiene.

Por medio de este Estudio de Impacto Ambiental se han analizado en detalle las características del proyecto y su interacción con el ambiente en el cual se localiza, de modo que pudieron identificarse todas las acciones generadoras de impactos en los distintos factores. Se brindaron recomendaciones para la aprobación del proyecto y medidas para prevenir, minimizar, corregir o compensar los impactos.

El proyecto en cuestión es ambiental y socioeconómicamente viable, siempre que se respete lo establecido en el Plan de Gestión Ambiental. Por todo lo expuesto anteriormente, se solicita a la Autoridad tenga a bien aprobar el proyecto *Nueva planta de tratamiento de efluentes cloacales del Hospital Interzonal "Evita Pueblo" de Berazategui*.

Introducción

El presente Estudio de Impacto Ambiental corresponde al proyecto *Nueva planta de tratamiento de efluentes cloacales del Hospital Interzonal “Evita Pueblo” de Berazategui*, el cual incluye las etapas de construcción, operación y cierre de la misma.

Descripción del proyecto

Se prevé la construcción de una planta de tratamiento de los efluentes cloacales del Hospital Interzonal General de Agudos “Evita Pueblo” en la localidad de Berazategui. Con la construcción y puesta en marcha de la planta se tiene como objetivo remover contaminantes de preocupación emergente a niveles recomendados por reconocidas instituciones internacionales, previo a que los efluentes sean volcados a la red cloacal.

Localización

La nueva planta de tratamiento de efluentes líquidos se emplazará en la ciudad de Berazategui, provincia de Buenos Aires.

Datos catastrales según CartoARBA (2024):

- Partido: 120 (Berazategui) Circunscripción: 4 Sección: R Fracción: 3 Parcela: 14D
- Coordenadas: (34°46'53" S; 58°12'43,87" O)

El uso de suelo del predio está categorizado como “uso especial” y los terrenos lindantes pertenecen todos a “uso residencial” según el código de zonificación de la ciudad.

La planta de tratamiento se ubicará dentro del predio del hospital, con frente hacia la calle N° 136 a una distancia mayor a 3 m del helipuerto, tal como lo especifica la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) para el área de seguridad.

El espacio disponible para ubicar la planta de tratamiento es de 500 m².

Área de influencia

Se define como área de influencia directa el predio del proyecto y 100 m a la redonda ya que es aquí donde tendrían consecuencias directas las acciones llevadas a cabo.

Se define como área de influencia indirecta los 300 m a la redonda. Se estima que los impactos podrán extenderse como máximo en esta superficie dadas las características y magnitud del proyecto.



Figura 30: Emplazamiento del proyecto. En amarillo el predio disponible para la planta de tratamiento.



Figura 31: Emplazamiento del proyecto (acercamiento). En rojo el predio del Hospital Evita Pueblo, en amarillo el área destinada a la futura planta de tratamiento.

Memoria técnica

La planta de tratamiento de efluentes líquidos del Hospital Evita Pueblo permitirá interceptar los líquidos cloacales previo su vuelco al caño colector y realizarles un tratamiento combinando operaciones físicas y químicas. Este tratamiento reducirá las concentraciones de parámetros fisicoquímicos ajustándolas a lo estipulado por la normativa vigente para su vuelco en la red cloacal. Además, mejorará considerablemente la calidad de efluente al remover altos porcentajes de contaminantes de preocupación emergente característicos de este tipo de residuo líquidos tales como compuestos farmacéuticos, medios de contraste de rayos X y patógenos de relevancia sanitaria.

La planta tendrá una capacidad de tratamiento de 458 m³/día.

El proyecto se divide en tres etapas: fase constructiva, fase operativa y fase de cierre. A continuación, se detallan las acciones asociadas a cada una de ellas y servicios auxiliares.

Etapa constructiva

La fase constructiva tendrá una duración de aproximadamente un año. Comenzará con la limpieza y nivelación del terreno para la construcción de la base de la planta. A continuación, se construirá la infraestructura, se realizarán las excavaciones pertinentes para las unidades enterradas y se instalará el sistema de tuberías para la interceptación y desviación del efluente cloacal hacia la planta. El siguiente paso será el montaje de las unidades de tratamiento y sistemas de control. Se realizarán las instalaciones de sistemas eléctricos según la necesidad de los diferentes equipos. Por último, se efectuarán los acabados finales y se acondicionará el área, evacuando los residuos y retirando la maquinaria utilizada.

Tabla LIV: Acciones y su descripción de la etapa constructiva del proyecto.

ETAPA CONSTRUCTIVA	ACCIONES	DESCRIPCIÓN
	Se instalará infraestructura temporal	Se montará infraestructura temporal para el uso del personal de construcción. Esto incluye baños químicos, obradores y paños.
	Cerramiento de obra	Se delimitará y señalizará el perímetro del terreno donde se llevarán a cabo las tareas y construcción.
	Desmonte y limpieza del terreno	Se realizará el desmonte de la capa superior del suelo y limpieza de ramas, troncos y otros obstáculos presentes en el terreno.
	Sistematización del terreno	Se llevarán a cabo tareas de excavación, relleno y nivelación del terreno.
	Ingreso de maquinaria y materiales de construcción al predio	Tránsito de personal con maquinaria.
	Construcción de la planta	Excavación y hormigonado
		Cimentaciones
		Construcción de armadura
		Construcción de estructura
	Parquización	Reforestación del suelo.
	Retiro de la infraestructura temporal y apertura de obra	Desmontaje de infraestructura temporal.

Mano de obra

Se priorizará la contratación de mano de obra local. Dado que se trata de una planta de tamaño pequeño, la cantidad de trabajadores necesaria no será mayor a quince (15) personas. Se contratarán profesionales de ingeniería, técnicos, capataz de obra y operarios. Además, se evaluará la necesidad de contratar un transporte para los equipos y/o materiales.

Etapas operativa

Se realizará la puesta en marcha de la planta. El tiempo de vida útil estimado es de 25 años, dado que los equipos necesitarán recambios. Sin embargo, se planea que la planta se encuentre operativa durante toda la fase operativa del hospital.

Esta etapa incluye todas las actividades de operación y mantenimiento que se realizarán en la planta. El sistema de tratamiento estará compuesto por: la interceptación del líquido cloacal, desbaste y equalización; tratamiento primario de tamización, coagulación, floculación y flotación; tratamiento terciario o no convencional consistente en ozonización seguida de radiación UV y vuelco a red cloacal. Además, se contará un sector de acondicionamiento de lodos.

Tabla LV: Acciones y su descripción en la etapa operativa.

ETAPA OPERATIVA	ACCIONES	DESCRIPCIÓN
	Operación de la planta	Control del proceso de tratamiento principal y complementarios, y del correcto funcionamiento de las unidades. Ajuste de parámetros en caso de ser necesario.
	Vuelco a red cloacal	Descarga del efluente tratado a la red cloacal.
	Limpieza y mantenimiento de las unidades	Limpieza del área, mantenimiento de las unidades y equipos, calibraciones, recambios, arreglos.
	Acondicionamiento de los lodos	Acondicionamiento de lodos y deshidratación. Almacenamiento hasta su retiro.
	Gestión de los residuos sólidos	Segregación, acopio transitorio y disposición de las distintas corrientes de residuos a generarse como resultado de la operación y mantenimiento de la planta.

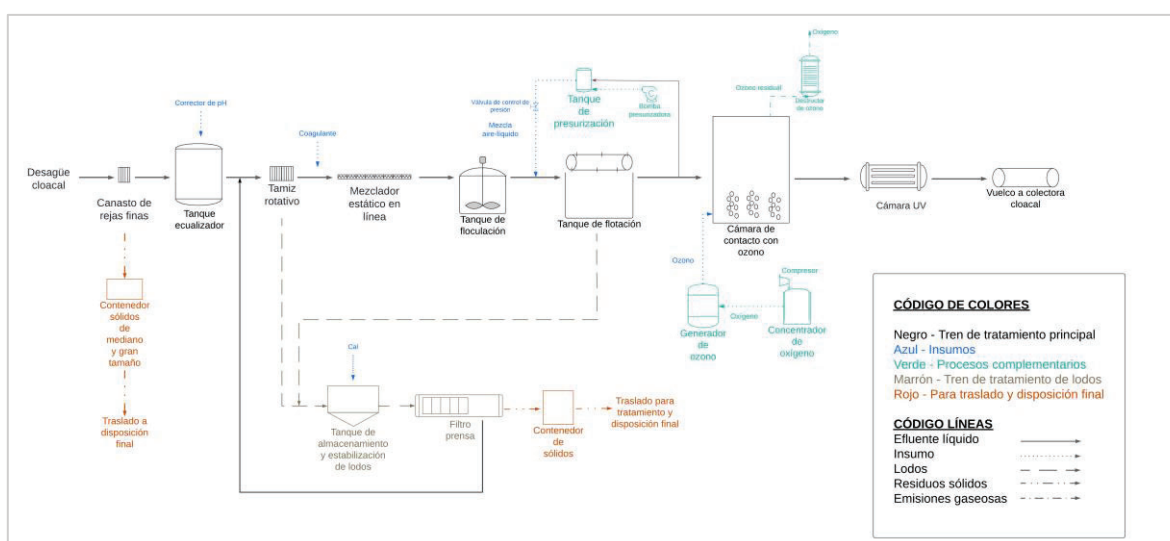


Figura 32: Proceso productivo durante la fase operativa, insumos y corrientes de residuos.

Servicios

Agua

El establecimiento cuenta con su propio pozo de agua y bomba elevadora, así como también conexión con el servicio municipal de provisión de agua potable.

Electricidad

El servicio es provisto por la empresa Edesur. Además, la planta cuenta por su parte con generadores eléctricos a diesel.

Etapa de cierre

La etapa de cierre tendrá una duración de aproximadamente un año luego del cese de la actividad operativa. Se dismantelará la infraestructura y se retirarán los equipos. Se

rellenarán las excavaciones y se parquizará, haciendo énfasis en la recuperación máxima de la calidad de suelo previo al proyecto.

Se deberá planificar con anterioridad ya que se obtendrá como resultado una gran cantidad y variedad de residuos que deberán ser dispuestos según sus características. Asimismo, deberá evaluarse la posibilidad de venta de equipos y elementos aún útiles.

Una vez concluidas estas tareas, se realizarán los monitoreos ambientales pertinentes.

Tabla LVI: Acciones y su descripción de la etapa de cierre del proyecto.

ETAPA DE CIERRE	ACCIONES	DESCRIPCIÓN
	Desmantelamiento y demolición de infraestructura y servicios.	Retiro de la infraestructura, unidades y piso. Desconexión y retiro del sistema de provisión de servicios de energía y luz.
	Nivelación del suelo.	Relleno de excavaciones.
	Desinstalación de equipos.	Retiro de equipos.
	Retiro de escombros.	Limpieza de los residuos generados en la etapa de cierre.
	Parquización.	Recuperación de la calidad paisajística.

Residuos

El hospital cuenta con un Plan de gestión de residuos donde se detalla todo lo concerniente al manejo y disposición de las diferentes corrientes de residuos generadas.

Durante las tres etapas se generarán distintos tipos y cantidades de residuos.

Gestión de residuos de la construcción

Serán recolectados por el servicio municipal siendo necesario dar previo aviso del tipo y cantidad aproximada. Serán transportados a la planta de tratamiento municipal de áridos.

Gestión de los residuos asimilables a domiciliarios

Para su recolección se dispondrán cestos de basura debidamente señalizados y se llevará a cabo una separación en origen de los mismos. Serán recolectados diariamente por el servicio municipal.

Gestión de los residuos especiales

Los residuos de tipo especial generados como consecuencia de las tareas de mantenimiento y limpieza serán dispuestos según lo estipulado por la Ley Provincial 11.720 de Residuos Especiales con responsabilidad como Generador.

Gestión de los residuos patogénicos

Los residuos patogénicos serán acondicionados para su acopio transitorio y se gestionarán según la ley provincial de residuos patogénicos.

Emisiones gaseosas y ruidos

Durante la etapa constructiva y la etapa de cierre se generarán ruidos por el uso de maquinarias y las tareas de construcción. Se emitirán gases como resultado de la combustión en máquinas y por el uso de vehículos para el traslado de personas y materiales. Sin embargo, estas emisiones no serán consideradas relevantes debido a que serán de generación esporádica y la maquinaria a utilizar será pequeña.

En la etapa operativa se generarán olores debido al tratamiento de los líquidos cloacales y los lodos. La etapa de ozonización libera ozono no disuelto.

Control de emisiones gaseosas

Las unidades de tratamiento se taparán para evitar la acumulación de olores.

Se contará con un destructor de ozono en la etapa de ozonización.

Control de ruidos

Se trabajará durante el día, con un esquema de tareas previamente evaluado y aprobado por la Dirección del hospital, teniendo en cuenta las actividades del establecimiento y la comodidad del personal médico y los pacientes en internación.

En caso de que alguna de las unidades del sistema de tratamiento genere vibraciones o ruidos que perjudiquen las actividades del hospital o a los vecinos, se insonorizará la planta y se posicionarán los equipos en bases que amortigüen las vibraciones.

Línea de Base Ambiental

Medio físico

Clima

Según Thornthwaite (1948) le corresponde a la zona el clima B1 B'2 ra' (húmedo, mesotérmico, con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival).

Los siguientes datos tienen base en la información proporcionada por el Sistema Meteorológico Nacional en su registro histórico correspondiente a las dos estaciones de monitoreo más cercanas al proyecto:

- EZEIZA AERO (al sudoeste del proyecto)
- LA PLATA AERO (al sudeste del proyecto)

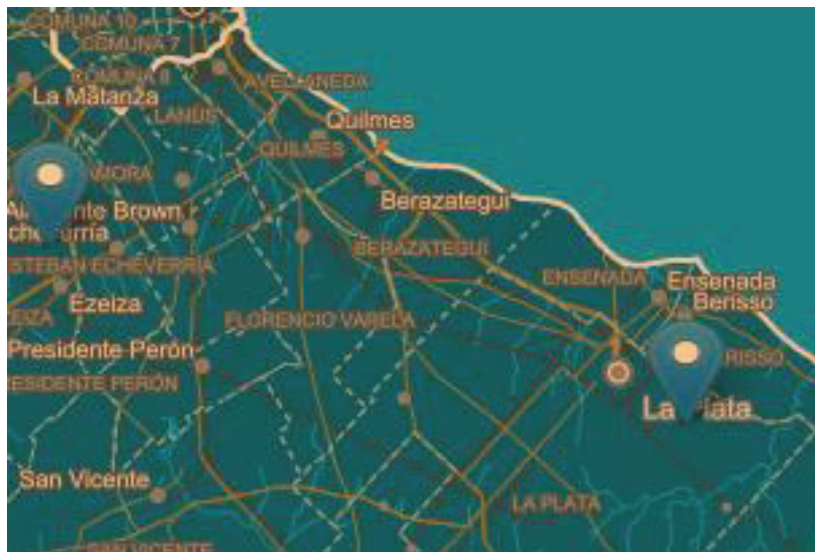


Figura 33: Ubicación de las estaciones EZEIZA AERO (a la izquierda) y LA PLATA AERO (a la derecha) respecto a Berazategui (Centro de la imagen). Fuente: Sistema Meteorológico Nacional.

Al analizar las estadísticas climatológicas del período 1991-2020, se observa que ambas estaciones presentan datos similares por lo que se decidió extrapolar la información a la ciudad de Berazategui (ver Anexo).

Las temperaturas medias varían entre los 9-25°C, según la época del año. Las temperaturas máximas se dan en los meses de diciembre, enero y febrero, y rondan los 30°C. Las temperaturas mínimas se dan en junio, julio y agosto y son de aproximadamente 6°C.

La velocidad del viento es de 10-15 km/h y se mantiene relativamente estable durante todo el año. Datos registrados durante un año (2009-2010) por estaciones en tierra de la empresa Agua y Saneamientos Argentinos S.A., ubicados en Berazategui, muestran que los vientos suelen ser menores debido a efectos topográficos (4 km/h la mayor parte del tiempo) y mayormente provenientes del sudeste.

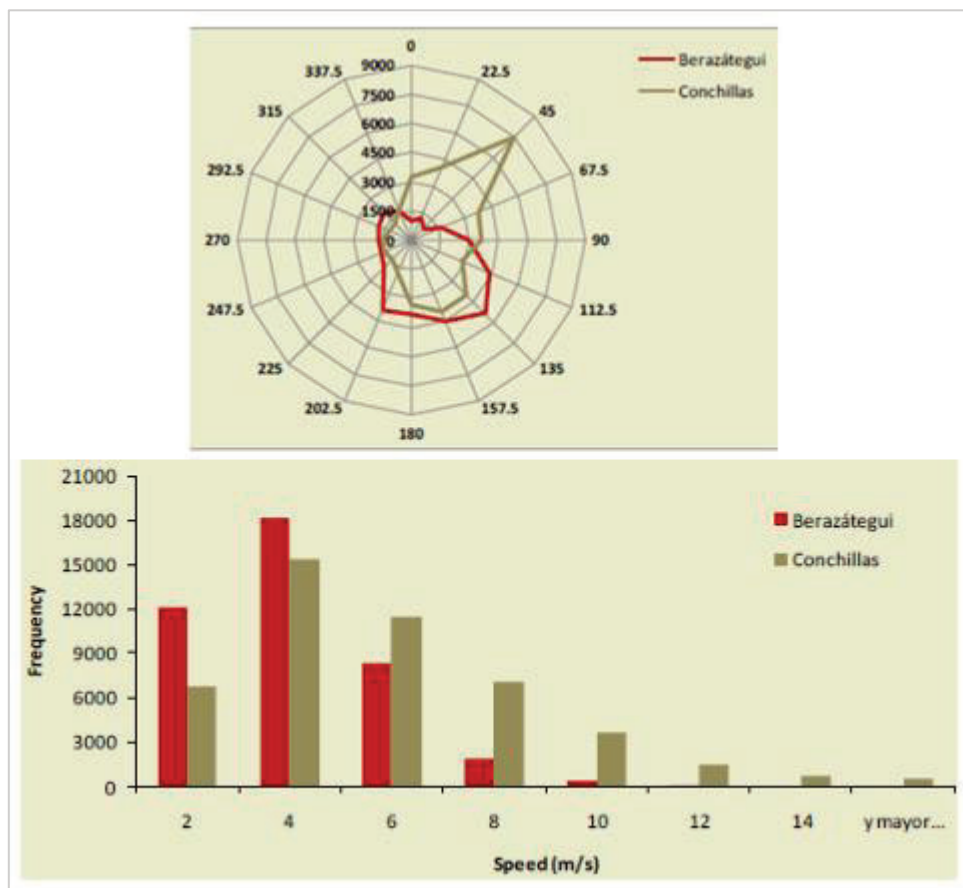


Figura 34: Histogramas para la velocidad y la dirección del viento medidos en dos estaciones en tierra de la empresa AySA. Fuente: AySA (2011)

La región pampeana bonaerense, donde se ubica Berazategui, se ve afectada por vientos como la sudestada que viene del océano (en los meses invernales), el "viento norte" caluroso; y el Pampero o "viento suroeste" que atraviesa la Patagonia (en los meses cálidos), proviniendo del anticiclón antártico.

Las precipitaciones medias anuales superan ligeramente los 1000 mm.

Aire

No se cuenta con un registro histórico de calidad de aire en bibliografía por lo que se deberá realizar un estudio de calidad de aire previo al comienzo del proyecto de modo de contar con las concentraciones de fondo de contaminantes de interés. Para determinar los parámetros a medir se evaluó las actividades que se llevan a cabo en el espacio circundante.

Según lo observado en el mapa se encuentran las siguientes actividades en las cercanías de la planta de tratamiento:

- Fábrica de alfajores: 150 m en dirección S.
- Estación de servicio: 225 m en dirección SE.
- Mini Parque Industrial Vergara: 800 m en dirección O.
- Fábrica de vidrio Rigolleau: 1700 m en dirección NE.



Figura 35: Mapa de actividades en la cercanía que pueden afectar la calidad de aire. Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda realizar un análisis de la calidad de aire de base donde se midan, por lo menos, los contaminantes criterio para el índice de calidad de aire (ICA) de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense:

- Ozono
- Material particulado
- Monóxido de carbono
- Dióxido de azufre
- Dióxido de nitrógeno

Otros parámetros a prestar especial atención

- Estación de servicio: Los compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (NMVOCs) son el parámetro más importante a monitorear en relación a la actividad

de la estación de servicio. Fuente: 1.A.3.b.v Gasoline evaporation 2024 de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023.

- Fábrica de vidrio Rigolleau: Los principales contaminantes relevantes a la producción de vidrio son SO₂, NO_x y CO₂. Fuente: 2.A.3 Glass production 2023 de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023.
- Mini Parque Industrial Vergara: La única industria relevante es una cementera. Los parámetros a monitorear más importantes son NO_x, SO₂ y otros compuestos de azufre, material particulado, VOCs, dioxinas y furanos, CO, NH₃, HF, HCl. Fuente: 2.A.1 Cement production 2023 de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023.

Suelo

La planta de tratamiento se construirá en una zona que se encuentra desde hace varias décadas urbanizada por lo cual las propiedades del suelo original se espera que hayan sido modificadas como producto de la urbanización. Además, el terreno ya ha sido modificado y nivelado al momento de construirse el hospital.

Dado que no se cuenta con estudios de suelo previos, se recomienda realizar un estudio de los horizontes del suelo específico de la zona de implantación del proyecto para mayor especificidad sobre sus características básicas que incluya, como mínimo, pH, conductividad hidráulica, composición, porcentaje de materia orgánica y capacidad de intercambio iónica. Estos datos se tomarán como línea de base.

Topografía

El terreno de la futura planta de tratamiento se encuentra nivelado, sin pendientes que favorezcan el escurrimiento en algún sentido específico por lo que la infiltración en el suelo juega un rol preponderante en el desagote de las aguas de lluvia.

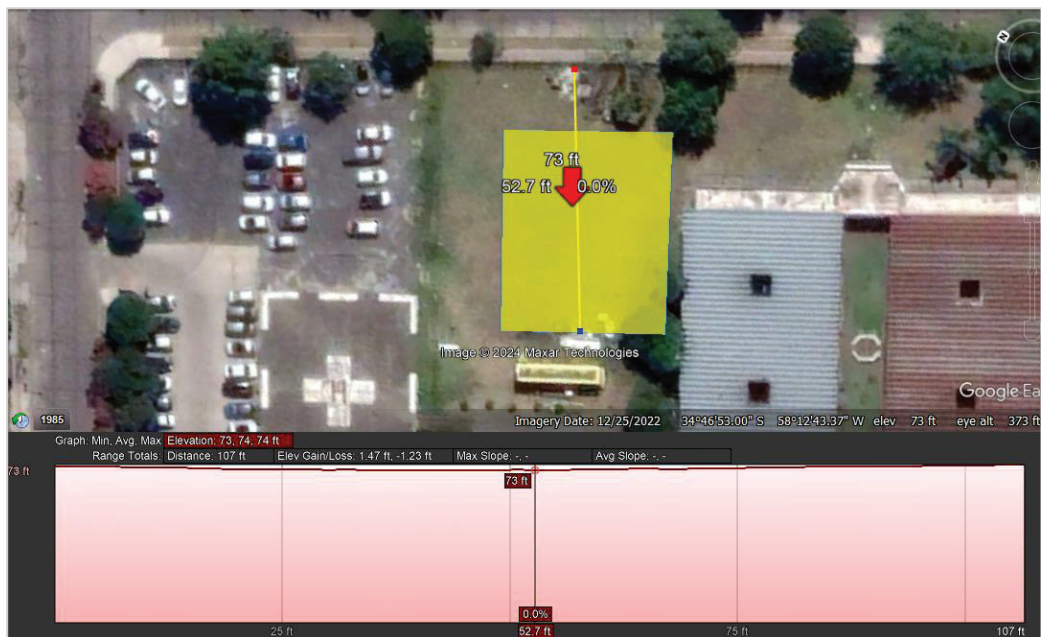


Figura 36: Perfil de elevación del terreno. Fuente: Elaboración propia.

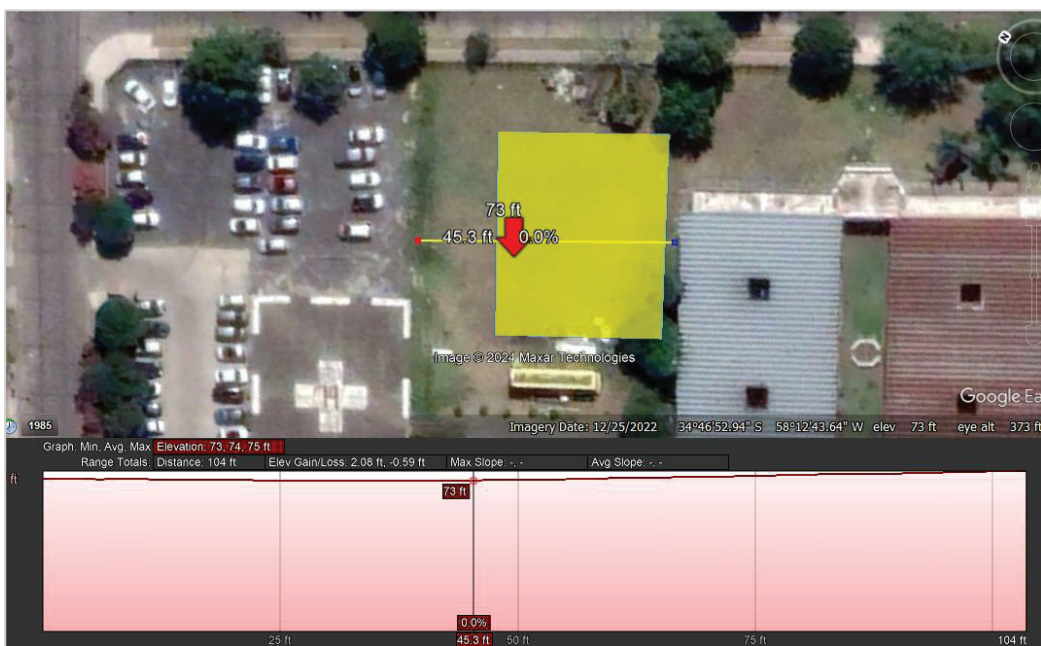


Figura 37: Perfil de elevación del terreno. Fuente: Elaboración propia.

Agua superficial

No existen cuerpos de agua superficial en la zona. El arroyo más cercano (Arroyo Conchitas) se encuentra a 3 km de distancia en dirección Este.

Geología y comportamiento hidrológico

El terreno del proyecto se encuentra en la denominada Llanura Alta del Ambiente Noreste (Auge, M., 2022). Las condiciones morfológicas y geológicas que caracterizan a la Llanura Alta, ejercen notable incidencia en la dinámica y en la química del agua subterránea. En ella domina la infiltración o la recarga, particularmente en las divisorias de aguas superficiales, que son las formas de menor pendiente topográfica (Auge, M., 2005).

En la tabla a continuación, se sintetiza la configuración física del sistema hidrogeológico (Nilda Gonzalez, 2005).

Tabla LVII: Configuración física del sistema geohidrológico. Fuente: Gonzalez, N. (2005)

Unidad geológica	Litología	Comportamiento hidrolítico
Postpampeano + Pampeano	Limos, arenas limosas, limos arcillosos. Conchillas	Zona No-Saturada Acuífero (freático)
Pampeano	Limos loessoides, limos finamente arenosos, calcáreos	Acuífero (freático) Acuífero (semilibre)
Pampeano (inferior)	Limos arcillosos. Arcillas limosas	Acuitardo
F. Arenas Puelches	Arenas medianas a finas, ocasionalmente gruesas	Acuífero (semiconfinado)
F. Paraná (superior) F. Paraná (inferior)	Arcillas verdes, verde-azuladas Arenas medianas a finas, marinas	Acuícludo Acuífero (confinado)
F. Olivos (superior) F. Olivos (inferior)	Arcillas rojizas Arenas medianas a gruesas, gravas basales	Acuícludo Acuífero (confinado)
Basamento hidrogeológico	Basaltos Granitos y gneisses	Acuífugo

El Pampeano (también llamado sedimentos pampeanos) se emplaza por debajo del Postpampeano en la Planicie Costera y subyace a la cubierta edáfica en la Llanura Alta. Este último es el caso del terreno del proyecto. Los Sedimentos Pampeanos contienen al Acuífero Pampeano, que es uno de los más utilizados en la Llanura Chacopampeana para consumo humano, ganadero, industrial y para riego.

El espesor del Pampeano está controlado por los desniveles topográficos y por la posición del techo de las Arenas Puelches, variando entre extremos de 50 m en la Llanura Alta y 0 m en la costa del Río de la Plata (Auge, M., 2005). En la sección superior del Pampeano se emplaza la capa freática, mientras que, con el aumento de la profundidad, es frecuente la presencia de capas semiconfinadas normalmente por debajo de los 50 m (Auge, M., 2022). La trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche subyacente y también para la transferencia de sustancias

contaminantes, generadas principalmente por actividades domésticas y agrícolas, como los nitratos (Auge, M., 2005).

La sección superior del Pampeano contiene a la capa freática. En la base del Pampeano se localiza un acuitardo (limos arcillosos, arcilla limosa) coincidente en general con la Formación Ensenada o equivalente, que sirve de techo al acuífero Puelche (Formación Arenas Puelches) con un reducido desarrollo, entre 2 y 12 m. En relación a los parámetros hidráulicos del Pampeano, la conductividad hidráulica y la porosidad efectiva más frecuentes varían entre 1 y 10 m/día y entre 5 y 10% respectivamente. El agua contenida en el Pampeano es del tipo bicarbonatada sódica y cálcica, con salinidades inferiores a 1 g/L en la Llanura Alta, pero con incrementos notorios en la Planicie Costera (Auge, M., 2005).

El acuífero Puelche yace en toda la región, extendiéndose hacia el Sur y penetrando en las vecinas provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba. Es el más explotado del país en volumen en la actualidad (Auge et al., 2002 en Gonzalez, 2005). En este ambiente se emplea al Acuífero Pampeano para consumo doméstico rural, para el ganado y para consumo doméstico periurbano, en aquellos sitios que no cuentan con servicio de agua potable (Auge, M., 2022).

La secuencia continúa con un espesor de arcillas marinas verde-azuladas correspondiente a la sección superior de la Formación Paraná, de comportamiento acuicludo, por sobre arenas verdes grisáceas también marinas, acuíferas, que conforman la base de dicha formación. Por debajo se hallan arcillas pardo-rojizas continentales muy plásticas, acuícludas y pertenecientes a la Formación Olivos, techo de una unidad acuífera confinada localizada en las arenas basales de esta Formación (Gonzalez, 2005).

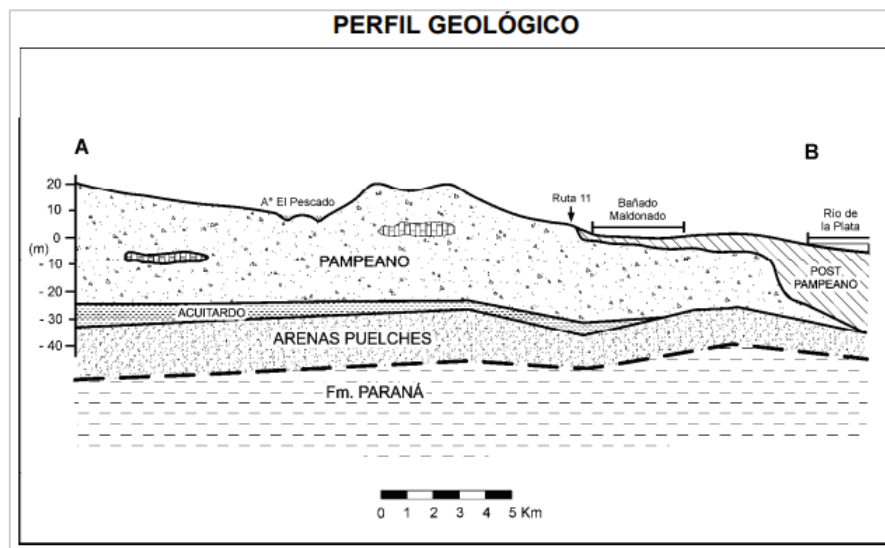


Figura 38: Perfil geológico de la Llanura Alta con corte a la altura de la ciudad de La Plata. Perfil geológico. Fuente: Auge, M., 2006.

Recarga de los acuíferos

La recarga del acuífero freático y semilibre Pampeano es autóctona directa, a expensas de excedentes hídricos que superan los 250 mm/año.

El Puelche se recarga a partir del Pampeano mediante filtración vertical descendente a través de capas de baja permeabilidad (acuitardos), en los sitios donde este último tiene mayor potencial hidráulico y, se descarga en el Pampeano, donde se invierten los potenciales hidráulicos (Auge, M. 1986 en Auge, M. 2022)

En el caso del acuífero Puelche, la intensa explotación introdujo una fuerte distorsión a la red equipotencial, evidenciando la existencia de extensos conos de depresión regional emplazados en el área metropolitana y Gran La Plata. Estas hidroformas antrópicas forzaron un cambio en el sentido de flujo y en el comportamiento en parte de los ríos y arroyos del área, acompañando de intrusión salina desde la planicie aluvial del río de la Plata y depleción del conjunto freático-semilibre Pampeano (Auge et al., 2002 en Gonzalez, 2005).

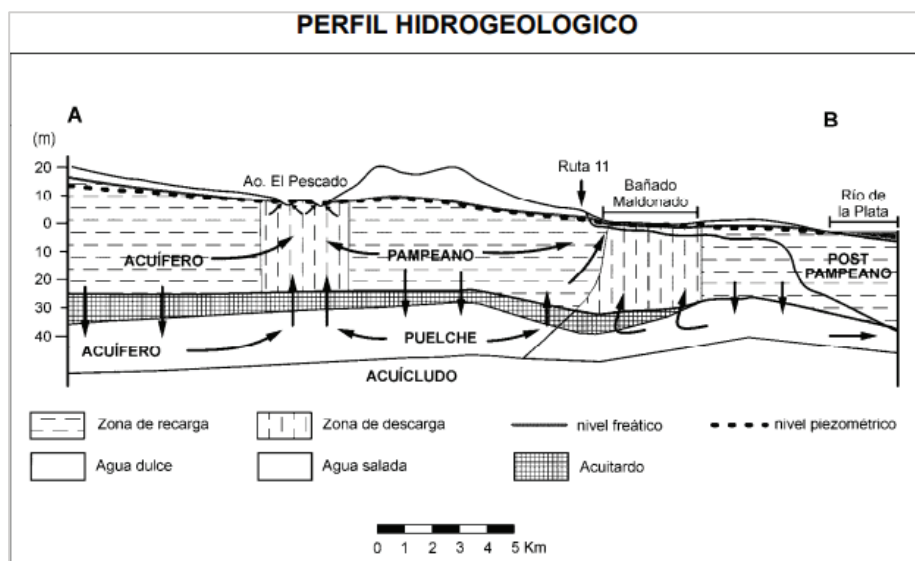


Figura 39: Perfil hidrogeológico de la Llanura Alta con corte en la ciudad de La Plata. Fuente: Auge, M. 2006.

Extracción de agua en Berazategui

Para abastecimiento humano, sólo se emplea el Acuífero Pampeano en las zonas suburbana y rural, que no poseen servicio de agua potable, con un insumo de unos 2,6 hm³/a. En el Conurbano de Buenos Aires se utilizan unos 355 hm³/a de agua subterránea para abastecimiento humano, con una participación de alrededor del 30% del Acuífero Pampeano y el 70% del Puelche, y unos 35 hm³/a para riego, con un porcentaje similar (Auge, M., 2022).

En Berazategui, el servicio de agua es municipal. El sistema se abastece de más de 100 pozos autorizados por la Autoridad del Agua, que extraen agua del acuífero Puelche y lo envían por la red. Según lo informado por la Municipalidad de Berazategui sobre los nuevos pozos de agua en funcionamiento, el más cercano estaría a 350 m del hospital en dirección sur. Sin embargo, no se cuenta con el detalle de todos los pozos que se encuentran actualmente en funcionamiento.

Por su parte, el hospital cuenta con su propia perforación: La toma de agua del “Evita Pueblo” se realiza a través de dos pozos de aproximadamente 70 m de profundidad, a partir del acuífero semiconfinado Puelche (la unidad de mayor explotación del sistema).

Medio socio-económico

Según el censo del año 2022, la población de Berazategui es de 358.712 habitantes, con una densidad poblacional de 1629 hab./km², lo cual representa el 3,31% del total del conglomerado de los 24 partidos del Gran Buenos Aires.

El 52% de la población es de sexo femenino (registrado al nacer) mientras que el 48% corresponde a sexo masculino. La edad media de la población es de 31 años.

La tasa de alfabetismo es de 98,8%, mayor que la registrada para el Gran Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires

El 68,2% de la población es económicamente activa de la cual el 92,3% se encuentra ocupada.

El Censo 2010 registra 93.164 hogares en el partido de Berazategui. De ellos 9.723 son hogares con necesidades básicas insatisfechas, los que representan el 10,4% del total del municipio.

De acuerdo a la calidad de las conexiones a servicios básicos, las viviendas de Berazategui presentan una distribución que indica mayor presencia de condición satisfactoria (65,55%), seguida por las de calidad insuficiente (24,11%) y por último las viviendas con conexiones básicas (10,34%). El único de los restantes recortes territoriales que presenta el mismo ordenamiento es la provincia de Buenos Aires (Atlas Conurbano según resultados Censo 2010).

En cuanto a establecimientos educativos, el más cercano se encuentra a 570 m de la futura planta de tratamiento en dirección sudeste. Los restantes establecimientos se encuentran al sur y al sudeste, por lo cual el viento predominante no iría desde la planta hacia ellos. El terreno del proyecto se encuentra a una distancia razonable de todos los establecimientos escolares de la zona, contemplando también la posibilidad de dispersión de compuestos emitidos a la atmósfera por medio del viento.

El sentido del viento predominante proviene desde el sudoeste (donde se encuentran las instalaciones del hospital) hacia la planta de tratamiento, alejándose.



Figura 41: Establecimientos educativos cercanos al Hospital Evita Pueblo.

Los terrenos lindantes al hospital pertenecen a casas de residencia, terrenos desocupados y canchas de fútbol. La casa más cercana a la planta de tratamiento se encuentra a 30 m en dirección este, siendo la única en esa cuadra. El helipuerto del hospital se encuentra a 10 m del sector de la planta.



Figura 42: Terrenos lindantes a la futura planta de tratamiento. E: Cancha de fútbol, casa y terreno baldío. O: Instalaciones del Hospital. S: Instalaciones del Hospital. N: Casas.

Identificación y evaluación de los impactos ambientales

La normativa exige la identificación y descripción de los impactos ambientales quedando a criterio del evaluador las metodologías a utilizarse, siendo posible una combinación de las mismas. En el presente informe se utilizó la metodología de matriz de Conesa Fernández-Vítora para clasificar a los distintos impactos en bajo, moderado, severo y crítico, seguida de una descripción más detallada de los impactos.

Factores ambientales

En primera instancia, se identificaron todos los factores ambientales propensos a ser impactados como consecuencia de las acciones del proyecto.

Tabla LVIII: Factores ambientales susceptibles de ser impactados por las acciones del proyecto.

MEDIO FÍSICO	Atmósfera	Calidad de aire
		Ruidos
		Olores
	Agua	Calidad de agua subterránea
	Suelo	Calidad
		Compactación
		Drenaje superficial
MEDIO BIOLÓGICO	Vegetación	Cobertura vegetal
	Fauna	Biodiversidad
	Paisaje	Calidad de paisaje
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Aspectos económicos	Generación de empleo
		Demanda energética
	Aspectos sociales	Salubridad

Descripción del impacto de todas las acciones del proyecto en cada uno de los compartimentos ambientales

Impacto en el aire

En las etapas constructivas y de cierre la sistematización del terreno, demoliciones y trabajos de parquización, así como también la construcción de estructuras permanentes o temporales generarán la emisión de material particulado, vibraciones y ruido. Esto puede afectar la calidad de vida de los vecinos si no se implementan medidas de control y reducción de ruidos molestos.

Durante la etapa operativa, se pueden generar olores como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales.

La generación de energía eléctrica utilizando equipos electrógenos en caso de emergencias implica la emisión de gases de combustión. La etapa de ozonización genera como subproducto un excedente de ozono que debe ser correctamente destruido, de lo contrario afectará la calidad de aire.

Un incorrecto manejo de los residuos sólidos y líquidos generados en todas las etapas puede llevar a la emanación de olores.

El riesgo de incendio (contingencia) también plantea un impacto negativo en la calidad del aire por la emanación de humos y gases de combustión.

Impacto en el agua

Los posibles derrames de combustibles e insumos durante la construcción, operación y cierre pueden afectar el agua subterránea. Un mal manejo de los residuos puede generar la infiltración de lixiviados.

Impactos sobre el suelo

Tanto la etapa constructiva como la operativa y la de cierre presentan un potencial impacto sobre el suelo. La primera es el riesgo de derrame de combustibles y/o ruptura de cañerías e infiltración del líquido cloacal, aunque esta última es muy poco probable. En una instancia previa, la sistematización del terreno puede afectar al suelo por la remoción además de la compactación del mismo. Esto, sumado a la impermeabilización del área por cubrirla con hormigón pueden afectar el drenaje. Un mal manejo de los residuos puede llevar a la contaminación del suelo.

Impactos sobre la vegetación

Las etapas de construcción y cierre son aquellas que presentan un mayor impacto sobre la vegetación debido a la necesidad de sistematización del terreno. Esto implica la remoción de la capa vegetal por desmonte y limpieza del mismo.

Impacto sobre la fauna

Debido a la presencia de maquinaria, así como también los ruidos y la presencia de trabajadores, la fauna del predio podría movilizarse para los terrenos linderos. Esto, sin embargo, es temporal.

Los olores propios del tratamiento y la incorrecta gestión de los residuos pueden atraer animales plaga.

Impacto sobre el paisaje

Las tareas de sistematización del terreno, así como también la implantación de la planta generarán una modificación en el paisaje original. Las tareas de parquización realizadas tendrán como objetivo recomponer el paisaje dentro de las posibilidades admitidas por el proyecto.

Impacto sobre los aspectos económicos

Se generará un impacto positivo en lo referente a la creación de puestos de trabajo bajo condiciones laborales dignas dada la infraestructura a construirse. El hospital podrá ampliar su nómina de trabajadores empleando residentes de la zona para el manejo de la planta de tratamiento.

La demanda energética aumentará considerablemente debido a la implementación de equipos de alto consumo.

Impacto sobre los aspectos sociales

El tratamiento de los efluentes hospitalarios mejorará indirectamente la salubridad de la población en general, en particular de aquella que reside a la ribera del Río de La Plata donde se efectúan las descargas.

Los empleados podrían padecer afecciones o enfermedades agudas o crónicas en caso de no respetarse las recomendaciones de los profesionales del sector de Seguridad e Higiene, tanto en cuanto a las responsabilidades de los empleadores como también a las de los empleados y el uso de los elementos de protección personal.

Un incorrecto manejo de los residuos generados podría atraer plagas que representen un riesgo para la salud.

Valoración y evaluación de los impactos ambientales

Para la evaluación de los impactos ambientales anteriormente identificados, se utilizó la matriz de Conesa Fernandez-Vitora, la cual se basa en asignar valores cuantitativos y cualitativos a distintos aspectos ambientales de un proyecto.

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

± =Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

A continuación, se detalla cada uno de los términos de la ecuación.

- Momento (MO): El momento del impacto se refiere al tiempo transcurrido entre la aparición de la acción (t_0) y el inicio del efecto (t_j) en el factor ambiental considerado.
- Intensidad (i): Este término se refiere al grado de incidencia de la acción en el factor específico en el que actúa. La escala de valoración va desde 1 hasta 12, donde 12 representa una destrucción total del factor en el área donde se produce el efecto, y 1 una afectación mínima.
- Extensión (EX): Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto, expresado como un porcentaje del área total del entorno en el que se manifiesta el efecto.
- Signo (+/-): El signo del impacto se refiere a si las diferentes acciones tendrán un efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) en los diversos factores considerados.
- Persistencia (PE): Se refiere al tiempo durante el cual el efecto del impacto perduraría desde su aparición, hasta que el factor afectado regrese a las condiciones iniciales mediante procesos naturales o mediante la implementación de medidas correctivas.

- **Reversibilidad (RV):** La reversibilidad se refiere a la posibilidad de restaurar el factor afectado por el proyecto a sus condiciones iniciales previas a la acción, ya sea de forma natural una vez que la acción deja de actuar sobre el medio ambiente.
- **Sinergia (SI):** Este atributo considera el refuerzo de dos o más efectos simples. La manifestación total de los efectos simples, generados por acciones que actúan simultáneamente, es mayor de lo que se esperaría si las acciones que los causan actuaran de manera independiente y no simultánea.
- **Recuperabilidad (MC):** La recuperabilidad se refiere a la posibilidad de restaurar total o parcialmente el factor afectado como resultado del proyecto, es decir, volver a las condiciones iniciales previas a la intervención mediante acciones humanas, como la implementación de medidas correctivas.
- **Acumulación (AC):** Este atributo se refiere al aumento progresivo de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma continua o repetida.
- **Periodicidad (PR):** La periodicidad se refiere a la regularidad con la que se manifiesta el efecto, ya sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo.
- **Efecto (EF):** Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, es decir, cómo se manifiesta el efecto en un factor como consecuencia de una acción.

A partir del valor ponderado se obtiene la calificación para el impacto.

Tabla LIX: Valoración y evaluación del impacto según la ponderación.

Valor I Ponderado	Calificación	Categoría
Menor a 2,5	BAJO	
2,5-5	MODERADO	
5-7,5	SEVERO	
Mayor a 7,5	CRÍTICO	
Los valores con signo + se consideran de impacto nulo		

Tabla LX: Matriz de evaluación de impacto ambiental Conesa Fernández-Vitora del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

FACTORES AMBIENTALES		MEDIO FÍSICO						MEDIO BIOLÓGICO				MEDIO SOCIO-ECONÓMICO				VALOR MEDIO POR ACCIÓN		
		Atmósfera		Agua	Suelo		IMPORTANCIA MEDIA		Vegetación	Fauna	Paisaje	IMPORTANCIA MEDIA		Aspectos económicos			Aspectos sociales	IMPORTANCIA MEDIA
					Calidad	Compactación						Drenaje superficial	Calidad de paisaje	Generación de empleo	Demanda energética			
ACCIONES																		
ETAPA CONSTRUCTIVA	Instalación de infraestructura temporal	-16	-20			-19	-18	-14	-12	-18	-14	-31	-21	-3		-2	-12	
	Sistematización del terreno	-27	-33			-60	-45	-24	-27	-73	-55		-43	-34		-17	-29	
	Ingreso de maquinaria y materiales de construcción al predio	-23	-33		-18	-34	-25	-16	-21	-21	-33	-30	-28			0	-16	
	Construcción de la planta	-36	-71			-47	-72	-67	-42	-84	-63	-53	-67	-44	-26	-35	-48	
	Parquización								0				0			0	0	
ETAPA OPERATIVA	Operación de la planta	-19	-22	-34	-18				-13				0	-45		-45	-19	
	Limpieza y mantenimiento de las unidades	-14			-18				-5				0	-22		-7	-4	
	Acondicionamiento de los lodos	-22		-38					-9				0	-22		-7	-5	
	Generación de residuos sólidos	-21		-16	-18	-22			-11			-23	-8			-5	-8	
ETAPA DE CIERRE	Desmantelamiento y demolición de infraestructura y servicios.	-41	-73		-18	-35			-28		-73		-24	-40	-29	-35	-29	
	Nivelación del suelo.	-22	-30			-48			-14		-65		-22			0	-12	
	Retiro de escombros.	-21	-25						-7				0			0	-2	
	Parquización.								0				0			0	0	
VALOR MEDIO		-20	-24	-7	-7	-24	-12	-11	-15	-18	-28	-12	-16	-16	-6	-12	-14	

Tal como puede observarse en la matriz, los impactos más relevantes se dan en la etapa constructiva, específicamente durante la sistematización del terreno y la construcción de la infraestructura. Se centran, principalmente, en la generación de ruidos, pérdida de las propiedades del suelo y afectación de la cobertura vegetal. Además, el impacto en la fauna también es considerable, sin embargo, este impacto es completamente reversible una vez que terminen los trabajos de construcción. Por otro lado, la calidad del aire es un factor susceptible a ser afectado si no se toman las medidas pertinentes.

A partir de esta evaluación, se deben proponer medidas preventivas, mitigatorias, de control y compensación de los impactos, con foco en los factores ambiental de mayor afectación y en las acciones que los provocan.

Plan de Gestión Ambiental

El Plan de Gestión Ambiental tiene como objetivo garantizar la implementación efectiva de las medidas y recomendaciones ambientales. Este plan se compone de un conjunto de programas interrelacionados que definen metas específicas, cronogramas y requisitos relacionados con las actividades del proyecto.

El Plan de Gestión Ambiental incluye:

- Programa de Medidas para la prevención, mitigación, control y compensación de impactos ambientales
- Programa de Monitoreo
- Programa de Contingencias Ambientales
- Programa de Higiene y Seguridad
- Programa de Capacitación

Programa de Medidas de prevención, mitigación, control y compensación de impactos ambientales

Durante el desarrollo de las obras, la empresa constructora, así como sus subcontratistas implementarán adecuada y eficazmente las medidas vinculadas con la protección ambiental. Para esto, divulgarán entre su personal y subcontratistas las normas de prevención y control ambiental y los capacitarán para su correcto cumplimiento.

- Quedan terminantemente prohibidas las quemas dentro del predio del proyecto.

- Queda prohibida la limpieza y/o mantenimiento de vehículos fuera de los sectores autorizados, tanto dentro como fuera del predio.
- Se tomarán todas las medidas necesarias para que los residuos generados y/o excedentes de materiales se dispongan de manera correcta, evitando su acumulación en sectores no autorizados como por ejemplo canaletas o zanjas.

ACCIÓN E IMPACTO	Sistematización del terreno – Pérdida de la cobertura vegetal
MEDIDA	Correctiva
DESCRIPCIÓN	Conservar, dentro de lo posible, los ejemplares originales del terreno. Reforestar el terreno con estos mismos. En caso de no ser posible, reforestar con especies autóctonas.

ACCIÓN E IMPACTO	Sistematización del terreno -Pérdida de la calidad del suelo
MEDIDA	Correctiva
DESCRIPCIÓN	Remover el suelo respetando los horizontes del mismo en diferentes pilas de tierra y volver a colocarlos en orden en aquellos sectores donde se rellene el terreno. Cubrir la superficie con el horizonte superior.

ACCIÓN E IMPACTO	Derrame de combustibles y/o sustancias – Pérdida de la calidad del suelo y contaminación del agua subterránea
MEDIDAS	Preventiva
DESCRIPCIÓN	Llevar un correcto mantenimiento de los vehículos que ingresan al predio. Controlar que no sufran de pérdidas de combustible. Los vehículos deben circular siempre que sea posible por caminos donde el suelo se encuentre impermeabilizado de alguna manera. Todo depósito de sustancias químicas y residuos debe encontrarse sobre un suelo impermeabilizado. En su defecto, los contenedores deben encontrarse sobre bateas que no permitan la infiltración de líquidos al suelo.

ACCIÓN E IMPACTO	Limpieza y mantenimiento – Contaminación del suelo y el agua subterránea
MEDIDA	Mitigatoria
DESCRIPCIÓN	Contar con rejillas perimetrales y controlar las pendientes de los pisos. Realizar, en lo posible, limpiezas en seco.

ACCIÓN E IMPACTO	Sistematización del terreno – Emanación de material particulado
MEDIDA	Mitigatoria
DESCRIPCIÓN	Regar/Humedecer las áreas donde se genera material particulado para evitar que este se disperse por acción del viento. Los vehículos que ingresen al predio tendrán una velocidad máxima de circulación para prevenir el levantamiento de material particulado, tanto dentro como en las calles linderas al predio del proyecto. Asegurar la estabilidad de los materiales sueltos como pilas de tierra o que puedan ser movilizadas por acción del viento.

ACCIÓN E IMPACTO	Operación de la planta/Acondicionamiento de lodos – Pérdida de calidad del aire
MEDIDA	Mitigatoria
DESCRIPCIÓN	Implementar tecnologías adecuadas para reducir al mínimo la emanación de contaminantes atmosféricos, es decir, un sistema de tratamiento de gases acorde al compuesto emitido. Mantener tapadas las unidades operativas donde se generen olores.

ACCIÓN E IMPACTO	Generación de residuos sólidos - Salubridad/Pérdida de calidad del aire/Pérdida de calidad del suelo
MEDIDA	Preventiva
DESCRIPCIÓN	Reducir al mínimo la generación de residuos. Devolución de envases a los proveedores. Reutilización o reciclaje interno de los distintos residuos generados en la medida de lo posible. Llevar un seguimiento de los residuos generados y su disposición. Se realizará la correcta gestión de los residuos según su tipo y subclasificación respetando lo establecido en la normativa.

ACCIÓN E IMPACTO	Generación y almacenamiento de residuos – Generación de olores y plagas
MEDIDA	Preventiva
DESCRIPCIÓN	Gestionar correctamente los residuos generados. Controlar el tiempo y lugar donde se almacenan los residuos. Controlar que los mismos no se encuentren en lugares que pudieran poner en riesgo la salud de los trabajadores como por ejemplo cerca de comedores. Mantener los espacios limpios.

ACCIÓN E IMPACTO	Impacto sobre la fauna
MEDIDA	Compensatoria
DESCRIPCIÓN	Articular acciones con los distintos organismos municipales y de conservación para compensar el impacto generado en caso de una posible pérdida o afectación de especímenes del lugar.

ACCIÓN E IMPACTO	Generación de ruidos y vibraciones
MEDIDA	Mitigatoria
DESCRIPCIÓN	Los trabajos que generen ruidos y vibraciones deben realizarse durante el día, tanto en la etapa constructiva como la operativa. Implementar estrategias de insonorización en los distintos espacios de la planta según lo posibilite el establecimiento. Entre ellas se puede mencionar: reemplazo de maquinarias ruidosas, realizar un correcto mantenimiento, instalar placas de insonorización, ubicar las máquinas más ruidosas en recintos cerrados, implementar bases para absorber la vibración generada, entre otras. Evaluar la factibilidad y conveniencia de cada tipo de tecnología para el sector a analizar.

ACCIÓN E IMPACTO	Riesgo de explosión
MEDIDA	Preventiva
DESCRIPCIÓN	Realizar ensayos preventivos de los aparatos sometidos a presión.
	Contar con personal capacitado.
	Efectuar controles periódicos de mantenimiento.
	Adecuada limpieza de espacios donde se pueda dar la acumulación de polvos o atmósferas explosivas.
	Contar con buena ventilación.
	Correcto manejo de materiales explosivos.
	Contar con un correcto almacenamiento de las sustancias respetando su compatibilidad según lo informado por el proveedor.

ACCIÓN E IMPACTO	Riesgo de Incendio
MEDIDA	Preventiva
DESCRIPCIÓN	Evitar la excesiva acumulación de materiales combustibles o inflamables.
	Contar con un correcto almacenamiento de las sustancias respetando su compatibilidad según lo informado por el proveedor.
	Adecuado mantenimiento de las instalaciones.
	Contar con jabalina y puesta a tierra y realizar su mantenimiento.
	Contar con un pararrayos.
	Contar con los elementos de seguridad correspondientes y controlar estrictamente su vigencia y carga (matafuegos, entre otros).
	Estudio de carga de fuego (recomendable).

Programa de Monitoreo ambiental

Se realizarán monitoreos de los distintos compartimentos ambientales con el fin de llevar un seguimiento del estado de los mismos para poder identificar cualquier desvío respecto a lo esperado y, en caso de ser necesario, implementar medidas de corrección para prevenir

posibles impactos ambientales negativos. Se evaluarán, como mínimo, las concentraciones de aquellos compuestos que pueden variar por las actividades del proyecto, mencionados en el apartado de identificación de impactos ambientales. Sin embargo, será el Área de Ambiente la encargada de definir y controlar el correcto cumplimiento del plan de monitoreo en base a las recomendaciones del presente documento.

Se implementarán:

- Monitoreo de la calidad del aire y ruidos
- Monitoreo de efluentes gaseosos
- Monitoreo de la calidad del agua subterránea
- Monitoreo de efluentes líquidos
- Monitoreo de la calidad del suelo
- Registro fotográfico del predio durante todas las etapas

Programa de Contingencias Ambientales

El Programa de Contingencias Ambientales (PCA) sistematiza las acciones y procedimientos de emergencia que se activan rápidamente ante un evento imprevisto que pueda afectar negativamente el ambiente debido a los materiales involucrados. Este programa abarca todas las medidas necesarias para establecer un plan estructurado de respuesta en caso de emergencias en las diversas áreas de trabajo donde se encuentre personal, asegurando una reacción rápida y efectiva que permita mitigar impactos ambientales, ocupacionales y económicos.

Se deberá nombrar a un Responsable de Seguridad e Higiene (RSH) y a un Responsable de Ambiente (RA). El RSH estará a cargo de la coordinación e implementación del programa de contingencias, mientras que el RA se encargará del control, monitoreo y reportes. Durante las etapas constructiva y de cierre, los responsables pueden ser designados por las empresas contratistas. En la etapa operativa, será el establecimiento de salud quien deberá asignar estas responsabilidades.

Responsabilidades del RSH

Conformar un grupo de trabajo constituido por personal capacitado para actuar ante una emergencia.

Elaborar, implementar y mantener actualizado el programa de contingencias conforme a la propia evaluación de riesgos e identificación de contingencias. Identificar las contingencias que no hubieren sido incorporadas en este documento.

Redactar detalladamente el Plan de Contingencias Ambientales Específico (PCAE) a ser aplicado en todas las etapas del presente proyecto, incluyendo para cada medida los responsables, sus responsabilidades, procedimiento a llevar a cabo y toda información complementaria relevante. El PCAE debe ser complementario al Plan de Seguridad e Higiene.

Capacitar a los trabajadores sobre buenas prácticas, riesgos, procedimientos ante emergencias y usos de elementos de protección personal.

Implementar señalética clara sobre riesgos, procedimientos y rutas de evacuación.

Elaborar los reportes sobre las contingencias.

Contingencias ambientales identificadas

- Derrames de combustibles: Pueden ocurrir durante el transporte, funcionamiento de generadores eléctricos o almacenamiento.
- Incendios y explosiones: Riesgo asociado al manejo de productos químicos.
- Condiciones climáticas adversas: Inundaciones o tormentas que puedan afectar la operación.
- Fugas de gases: Posibles emisiones durante el proceso de tratamiento.

Procedimientos de emergencias generales

Los procedimientos generales aquí descritos deben ser complementados por procedimientos detallados elaborados y aprobados por el RSH.

Derrames de combustibles

- Contar con equipos/materiales para la contención de los derrames y con agentes neutralizadores.
- Activar el protocolo de contención.
- Notificar a las autoridades ambientales y de salud.
- Implementar medidas de limpieza y remediación.

Incendios y Explosiones

- Definir la tipología y cantidad mínima de equipos y materiales de prevención, protección y de extinción de incendio (hidratantes de la red de agua contra incendios, extintores portátiles) e inspeccionarlos con la periodicidad que asegure su eficaz funcionamiento.
- Activar el sistema de alarma.
- Evacuar al personal a zonas seguras.
- Utilizar extintores y equipos de lucha contra incendios.

Condiciones Climáticas Adversas

- Monitorear pronósticos meteorológicos.
- Establecer un plan de evacuación y protección de la infraestructura.

Fugas de Gases

- Activar el sistema de ventilación.
- Evacuar el área afectada.
- Notificar a los servicios de emergencia.

Programa de Higiene y Seguridad

Este programa tiene como objetivo garantizar el cumplimiento de la normativa específica, incluyendo la Ley 19.587 y sus decretos reglamentarios correspondientes.

La gestión de este programa implica una verificación constante de la aplicación de las normas de seguridad vigentes. Esto incluye la supervisión de los programas de mantenimiento y actualización de los equipos de seguridad, así como el control del uso adecuado de los elementos y equipos de protección personal. También se llevará a cabo la verificación de las condiciones para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas, la capacitación del personal y la elaboración de planes específicos para abordar eventos que puedan poner en riesgo la seguridad del personal y de terceros.

El Programa de Higiene y Seguridad será elaborado y aprobado por un profesional de Seguridad e Higiene.

Programa de Capacitación

El objetivo de este programa es planificar una adecuada información y capacitación del personal sobre los problemas ambientales potenciales, así como la ejecución y control de medidas de mitigación, preservación, protección y control ambiental. También abarca los

planes de contingencia y las normativas y reglamentaciones ambientales aplicables a las actividades a desarrollar.

Además, se identificarán los roles y responsabilidades correspondientes según los diferentes niveles de responsabilidad y la naturaleza de las acciones involucradas, tanto en la ejecución de medidas de mitigación durante situaciones normales como en el tratamiento de situaciones de emergencia.

Por lo tanto, el programa incluirá un temario que aborde aspectos ambientales del proyecto y aquellos relacionados con el manejo de contingencias. Tanto el contenido teórico como las actividades prácticas capacitarán a los participantes para analizar y evaluar las acciones del proyecto desde una perspectiva ambiental, identificar los riesgos reales y potenciales asociados, y seleccionar y aplicar los procedimientos más adecuados para controlar dichos riesgos.

Normativa vigente

Nacional

- Ley 26.675 Ley General del Ambiente
- Artículo 41 de la Constitución Nacional
- Ley 19587/1972. Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Decreto reglamentario 351/79.
- Ley 24557/1995. Ley de prevención de riesgos del trabajo. Decreto reglamentario 170/96.

Provincial

- Ley 11723/95. Ley integral del medio ambiente y los recursos naturales. Declaración de Impacto Ambiental.
- Resol. 492/19. Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y los requisitos para la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) en el marco de la Ley N° 11.723.
- Ley 5965/58. Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.
- Decreto 1074/18. Reglamentario de la Ley 5965/58.
- Resol. 559/19. Reglamentación del Decreto N° 1074/18. Procedimiento Licencia Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA).

- Ley 11459, Decreto 1741/96, Resolución SPA 94/02. Evaluación de ruidos con trascendencia al vecindario. Resolución SPA 159/96 Método de medición y clasificación de ruidos molestos fijados por la Norma IRAM 4062/84.
- Ley 5965/58. Decretos 2009/60 y 3970/90. Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Factibilidad de vuelco de efluentes líquidos.
- Ley 12257/99. Protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia.
- Resoluciones ADA 336/03 y 335/08. Monitoreo de efluentes líquidos. Parámetros de calidad.
- Resolución 2222/19. Procesos para la obtención de Prefactibilidades, Aptitudes y Permisos; junto a los manuales de procedimientos.
- Decreto-Ley 9867/82. Adhesión a la Ley Nacional 22428 de Conservación de Suelos.
- Decreto 3389/87. Modificado por Decreto-Ley 10128 y las Leyes 10653, 10764, 13127, 13342 y 14449. Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo.
- Ley 11720/95 y modificatorias, Decretos 806/97 y 650/11. Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de Residuos Especiales. Resolución SPA 592/00 requisitos sobre almacenamiento transitorio en establecimientos generadores y registro de operaciones.
- Ley 11347/92 (modif. por Ley 12019/97). Residuos Patogénicos. Decreto 450/94 y 403/97.
- Ley 13592/04. Gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos. Decreto 1215/10. Disposición OPDS 01/07, Formulario Guía de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.
- Ley 14321/11. Gestión sustentable de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES).

Conclusiones

Por medio de esta Evaluación de Impacto Ambiental se han analizado a detalle las características del proyecto y su interacción con el ambiente en el cual se localiza de modo que pudieron identificarse todas las acciones generadoras de impactos en los distintos factores.

Se brindaron recomendaciones para la aprobación del proyecto y medidas para prevenir, minimizar, corregir o compensar los impactos.

No es un detalle menor tener en cuenta que el establecimiento de salud se encuentra en funcionamiento desde hace ya varios años y la zona de emplazamiento del proyecto tiene un grado de urbanización alto. Desde sus comienzos y gracias a su correcta gestión de los residuos patogénicos y especiales, así como también las buenas prácticas implementadas durante proyectos de construcción previos, las actividades del hospital no han presentado ningún inconveniente ni han representado un riesgo para los vecinos o el ambiente.

El proyecto en cuestión es ambiental y socioeconómicamente viable, siempre que se respete lo establecido en el Plan de Gestión Ambiental.

Por todo lo expuesto anteriormente, se solicita a la Autoridad tenga a bien aprobar el proyecto *Nueva planta de tratamiento de efluentes cloacales del Hospital Interzonal “Evita Pueblo” de Berazategui.*

Plan de Gestión de Residuos

Capítulo X – Normativa aplicable a los residuos generados

Las actividades del establecimiento deben estar en regla con lo estipulado por la Ley General del Ambiente N° 25.675, el Artículo 41° de la Constitución Nacional y el Artículo 121° de la Constitución Provincial.

Los hospitales son responsables de los residuos que producen. Deben asegurarse de que el manejo, tratamiento y disposición de esos residuos no tenga consecuencias perjudiciales para la salud pública ni para el medio ambiente (Comité Internacional de la Cruz Roja, 2011). Se resume la normativa aplicable a cada tipo de residuo:

Tabla LXI: Normativa aplicable a cada tipo de residuo que puede generarse en un establecimiento de salud.

NORMATIVA APLICABLE		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	NORMATIVA APLICABLE
PATOGÉNICOS TIPO A / RSU	Asimilables a domiciliarios	LP 11.347/LP 13.592 y normas complementarias
PATOGÉNICOS TIPO B	Presentan características de toxicidad y/o actividad biológica	LP 11.347 y normas complementarias
PATOGÉNICOS TIPO C	Radiactivos	LN 25.018 y normas complementarias
ESPECIALES	Contienen alguna característica de peligrosidad o riesgo para la salud humana, o del ambiente en general (excepto los arriba mencionados)	LP 11.720 y normas complementarias

El Hospital Evita Pueblo se encuentra dentro de la jurisdicción de la provincia de Buenos Aires, así como también la empresa que se encarga del transporte y operación de los residuos patogénicos. Por ende, la normativa local aplicable a los residuos patogénicos del establecimiento del proyecto es la Ley Provincial 11.347, su decreto reglamentario 450/1994, el decreto 403/1997 que modifica al anterior y normas complementarias. La reglamentación tiene por objeto asegurar la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final, ambientalmente sustentable. Además, prohíbe en todo el territorio bonaerense la disposición de estos residuos sin previo tratamiento, a fin de evitar perjuicios a la salud de los habitantes y promover la preservación del ambiente.

La normativa de la provincia de Buenos Aires denomina como residuo patogénico a todo tipo de residuo generado en los establecimientos de salud, sin embargo, en el artículo 2° del decreto reglamentario se distinguen tres tipos de residuos patogénicos:

RESIDUOS PATOGÉNICOS TIPO A: Son aquellos residuos generados en un establecimiento asistencial, provenientes de tareas de administración o limpieza general de los mismos, depósitos, talleres, de la preparación de alimentos, embalajes y cenizas.

Estos residuos podrán recibir el tratamiento similar a los de origen domiciliario, a excepción de lo que se prevé en el presente régimen en razón de poseer los mismos, bajo o nulo nivel de toxicidad.

Este tipo de residuos también es regido por la Ley Provincial 13.592 de Residuos Sólidos Urbanos.

RESIDUOS PATOGÉNICOS TIPO B: Son aquellos desechos o elementos materiales en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que presenta características de toxicidad y/o actividad biológica, que puedan afectar biológicamente en forma directa o indirecta a los seres vivos y/o causar contaminación del suelo, agua o atmósfera. Serán considerados en particular residuos de este tipo, los que se incluyen a título enunciativo a continuación: vendas usadas, residuos orgánicos de parto y quirófano, necropsias, morgue, cuerpos y restos de animales de experimentación y sus excrementos, restos alimenticios de enfermos infectocontagiosos, piezas anatómicas, residuos farmacéuticos, materiales descartables con y sin contaminación sanguínea, anatomía patológica, material de vidrio y descartable de laboratorio de análisis, hemoterapia, farmacia, etc.

RESIDUOS PATOGÉNICOS TIPO C: Son los Residuos Radioactivos de métodos diagnósticos, terapéuticos o de investigación, que puedan generarse en servicios de radioterapia, medicina por imágenes, ensayos biológicos, u otros. Los residuos de este tipo requieren, en función de la legislación nacional vigente y por sus propiedades físico-químicas, de un manejo especial. La normativa que los regula es la Ley Nacional 25.018.

En el artículo 5° de la Ley provincial de Residuos Patogénicos, se establecen en el territorio provincial cuatro zonas de manejo (según Dec. 403/97), a fin de asegurar un adecuado sistema de manejo de los residuos patogénicos según criterios de prestación compensada en cada zona. El Hospital Evita Pueblo de Berazategui pertenece a la zona II.

Los residuos especiales generados en el establecimiento deben ser gestionados según la Ley Provincial 11.720 y sus respectivas normas complementarias.

Capítulo XI – Memoria descriptiva del Plan de Gestión de Residuos

La gestión de los residuos en un establecimiento de salud es un conjunto de procesos destinados a garantizar la adecuada higiene y seguridad de los trabajadores y usuarios de los servicios de salud, así como de la comunidad en general (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021).



Figura 43: Etapas en la gestión de residuos del Hospital. Fuente: Elaboración propia a partir de la adaptación del flujograma del BID (2021).

La gestión adecuada de los residuos médicos depende de una buena organización, una financiación suficiente y la participación activa de personal informado y capacitado. Esas son las condiciones previas para la aplicación coherente de medidas a lo largo de toda la cadena de residuos (desde donde se generan hasta donde finalmente se eliminan). Con demasiada frecuencia, la gestión de residuos queda relegada al rango de una tarea menor, cuando debería valorarse y todos los actores de un hospital deberían asumir su parte de responsabilidad (Comité Internacional de la Cruz Roja, 2011).

El Plan de Gestión de los Residuos del Hospital Evita Pueblo fue diseñado tomando como punto de partida las exigencias en la normativa vigente para cada corriente de residuos. Se complementó, además, con los lineamientos de:

- “Directrices nacionales para la gestión de residuos en establecimientos de atención de la salud” (2016) de la Dirección Nacional de Determinantes de la Salud e Investigación del Ministerio de Salud de la Nación
- “Manual de Gestión de los Residuos Médicos” del Comité Internacional de la Cruz Roja (2011)
- “Guía para la Gestión de Residuos en Establecimientos de Salud” del Banco Interamericano de Desarrollo (2021)
- “Protocolo de Procedimientos para el Manejo de Residuos Patogénicos” de la Comisión de Bioseguridad e Higiene de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Responsabilidades

Se definirá un equipo de trabajo con responsabilidades asignadas explícitamente.

El equipo de trabajo para la gestión de los residuos se adaptará a los recursos disponibles en el establecimiento y se deberá evaluar la necesidad de incorporación de personal para cumplir con las responsabilidades. Se presenta, a continuación, el detalle del equipo de trabajo propuesto a partir de las recomendaciones del Comité Internacional de la Cruz Roja (2011), teniendo en cuenta los recursos del Hospital Evita Pueblo.

El título asignado a cada actor no se corresponde al nombre del puesto real designado en el organigrama del establecimiento. La importancia radica en contar con responsables que cumplan con las responsabilidades asignadas.

Cabe aclarar que, tal como se gestiona en la actualidad en el establecimiento, los residuos especiales no son manipulados por los encargados de recolección sino por los generadores.

Tabla LXII: Equipo de trabajo para la gestión de los residuos del Hospital adaptado a partir de lo recomendado por el Comité Internacional de la Cruz Roja. Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO DE TRABAJO		RESPONSABILIDADES
FIGURA	DESCRIPCIÓN	
Responsable de proyectos del Hospital	Tiene la responsabilidad general de garantizar que los desechos hospitalarios se gestionen de conformidad con la legislación nacional y los convenios internacionales.	Crear un grupo de trabajo encargado de elaborar el plan de gestión de residuos.
		Nombrar al gestor de residuos local, que supervisará y coordinará diariamente el plan de gestión de residuos.
		Asignar funciones y elaborar las descripciones de puestos.
		Asignar recursos financieros y humanos.
		Implementar el plan de eliminación de residuos.
		Realizar auditorías y actualizar y mejorar continuamente el sistema de gestión de residuos.
Responsable de residuos locales	Es la persona encargada de administrar diariamente el plan de gestión de residuos. Es la persona garante de la sostenibilidad a largo plazo del sistema y, por tanto, debe estar en contacto directo con todos los miembros del grupo de trabajo y con todos los empleados del hospital.	Supervisar diariamente la recogida, el almacenamiento y el transporte de residuos.
		Supervisar los stocks de recipientes y contenedores, bolsas y equipos de protección individual, así como el mantenimiento de los medios de transporte utilizados; enviar órdenes al administrador del hospital.
		Supervisar a las personas encargadas de la recogida y transporte de residuos.
		Seguimiento de las medidas que se deben tomar en caso de accidente (colocar carteles, informar al personal).
		Vigilar las medidas de protección.
		Investigar los incidentes/accidentes relacionados con desechos.
		Elaborar informes (cantidades de residuos producidos, incidencias).
		Garantizar el mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento y tratamiento.
Administrador del Hospital	Se encarga de la administración del establecimiento. Directamente relacionado con el área de Compras.	Garantizar la disponibilidad permanente de existencias de consumibles (bolsas, recipientes y contenedores, equipos de protección personal, etc.).
		Examinar y evaluar costos.
		Elaborar los contratos con terceros (transportistas, subcontratistas).
		Asesorar sobre políticas de compra con vistas a minimizar/sustituir determinados artículos (equipos sin mercurio, equipos sin PVC, etc.).
		Supervisar la implementación adecuada de las medidas de protección.
Jefa/e de Enfermería		Formar al personal asistencial en gestión de residuos (prestando especial atención a las nuevas incorporaciones).
		Supervisar los procedimientos de clasificación, recogida, almacenamiento y transporte en las distintas salas.
		Vigilancia de las medidas de protección
		Supervisar la higiene hospitalaria y tomar medidas para controlar la infección.
Jefa/e de Farmacia		Mantener los stocks de medicamentos y minimizar los stocks caducados.
		Gestionar los residuos que contienen mercurio.
		En ausencia del farmacéutico, el administrador del hospital asume estas responsabilidades.
Jefa/e de Laboratorio		Mantener los stocks de productos químicos y minimizar los desechos químicos.
		Realizar el manejo de los desechos químicos.
Encargados de recolección		Recolectar los residuos y transportarlos internamente hacia el punto de acopio transitorio.
		Reponer las bolsas, cajas y contenedores de disposición primaria.
		Realizar el pesaje de los residuos y prepararlos según lo indicado por la ley y el transportista.
		Completar la planilla de seguimiento de generación de residuos y reportar cualquier tipo de observación.
		Mantener la limpieza e higiene del sector de acopio y de los elementos de transporte interno.

Generación

Las características de los residuos generados varían según el tipo de establecimiento, su actividad particular o especialización, el volumen de artículos desechables utilizados y la cantidad de pacientes, así como las prácticas y estudios realizados (Dirección Nacional de Determinantes de la Salud e Investigación, 2016). El objetivo principal debe ser el de reducir, cuando sea posible, la generación de residuos.

Consideraciones

- Contemplar que pueden existir fuentes de residuos que no forman parte de las tareas programadas a raíz de situaciones diversas.
- Controlar rigurosamente el inventario de insumos para reducir la generación de residuos. El principio fundamental debe ser “el primero en entrar es el primero en salir”.
- Identificar los puntos y áreas de generación y almacenamiento de residuos e incorporarlos como parte del diseño integral del espacio, el entorno y el equipamiento. Esta consideración es importante en sectores de acceso restringidos donde no opera el equipo de recolección.

El Hospital debe estar registrado como generador de residuos patogénicos en el Registro Provincial de Generadores de Residuos Patogénicos y como generador de residuos especiales en el Registro Provincial de Generadores de Residuos Especiales.

Separación en la fuente y almacenamiento primario

La separación en la fuente implica clasificar y almacenar cada tipo de residuo en el contenedor o recipiente correspondiente, en el mismo lugar donde se produce. Esta práctica es fundamental en el proceso, ya que todo el ciclo posterior depende de su correcta ejecución. Una adecuada segregación de residuos en la fuente evita que los residuos comunes generados en el espacio de trabajo se contaminen o se mezclen (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021). Todo el personal hospitalario deberá contar con capacitación permanente sobre la correcta segregación, manejo de residuos y riesgos asociados.

Los residuos se segregarán en al menos cuatro grupos:

- Residuos asimilables a domiciliarios

- Residuos patogénicos tipo B
- Residuos patogénicos tipo B - Cortopunzantes
- Residuos especiales

Recipientes de contención primaria – Especificaciones de diseño

La segregación se realizará lo más cerca del punto de generación y en los recipientes de contención primaria (RCP) que cumplan con las características obligatorias y debidamente identificados con sus correspondientes bolsas respetando el código de colores establecidos según la normativa (ver Tabla de Segregación y almacenamiento primario de residuos). También se podrá emplear un recipiente de contención *ad hoc* para esa situación o aproximar transitoriamente un recipiente de contención primaria al lugar de la práctica.

Dado que las distintas normas no especifican en todos los casos los códigos de colores o tipos de RCP a utilizar, los lineamientos a seguir del presente plan para la segregación y almacenamiento primario de los residuos se basan en la normativa vigente y en las “Directrices nacionales para la gestión de residuos en establecimientos de atención de la salud” (2016) de la Dirección Nacional de Determinantes de la Salud e Investigación del Ministerio de Salud de la Nación.

Los RCP deben ser rígidos, de material inerte, resistente al contacto con agentes químicos y/o abrasivos y tener una base segura que impida el vuelco. Según el tipo de residuo a contener (sólidos en general, cortopunzantes, vidrios o líquidos) el almacenamiento primario se realiza en RCP enfundados con bolsas, descartadores, bidones, u otros recipientes aptos para líquidos. Se sugiere identificar los RCP con el tipo de residuos a contener para evitar confusiones.

Las bolsas deben ser impermeables, con posibilidades de cierre hermético, fuertes (alto micronaje) y de una capacidad y color adecuados al tipo y volumen de residuo. Se deben llenar sólo hasta las tres cuartas partes o al final del día de trabajo, se cierran herméticamente con precintos plásticos o metálicos o con doble nudo.

Los residuos patogénicos tipo B y los residuos especiales deben ser correctamente rotulados según lo exigido por la normativa.

Los residuos líquidos no infecciosos e infecciosos deberán ser diluidos con hipoclorito de sodio (5 g/L) durante al menos 30 minutos previo a su descarga a la cloaca, a excepción de la sangre que se descartará en bolsa roja.

Tabla LXIII: Códigos de colores para la identificación de los tipos de residuos y característicos de los recipientes de contención primaria. Fuente: Elaboración propia.

SEGREGACIÓN Y ALMACENAMIENTO PRIMARIO		
CATEGORÍA	COLOR DE BOLSA PARA IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL RECIPIENTE DE CONTENCIÓN PRIMARIA
Patogénicos Tipo A / Asimilables a domiciliarios	VERDE (s/ LP 13.592)	Recipientes de color blanco, con una banda horizontal color verde de 10 centímetros de ancho.
	Espesor mínimo: 60 micrones	En caso de realizarse la segregación en corrientes reciclables de RSU los contenedores deberán ser verde (vidrio), amarillo (plásticos y tetra-brick), marrón (papel y cartón) y azul (húmedos y no reciclables).
	NEGRO (s/ LP 11.347)	Señalizados con placa adhesiva de tamaño acorde a las medidas del contenedor.
Patogénico Tipo B	ROJO (s/ LP 13.592)	Recipientes tronco cónicos (tipo balde) o cilíndricos, con ángulos interiores redondeados, sin aristas vivas y con paredes lisas que faciliten la limpieza. De color negro con una banda horizontal roja de 10 cm de ancho.
	Espesor mínimo: 120 micrones	Livianos, de superficies lisas en su interior, lavables, resistentes a la abrasión y a golpes, con tapa de cierre hermético y asas para facilitar su traslado.
	Tamaño que posibilite el ingreso a hornos incineradores u otros dispositivos de tratamiento de residuos patogénicos.	Aquellos residuos patogénicos B con alto contenido de líquido, serán colocados en sus bolsas respectivas (rojas) a las que previamente se les haya agregado material absorbente que impida su derrame.
	Impermeables, opacas y resistentes.	
Patogénico Tipo B - Cortopunzante	ROJO. Recomendado: Descartadores para cortopunzantes.	Serán colocados en recipientes resistentes a golpes y perforaciones, tales como botellas plásticas o cajas de cartón, o envases apropiados a tal fin (descartadores), antes de su introducción en las bolsas.
		Recipientes previamente rotulados.
		La boca de estos recipientes debe permitir la fácil introducción de los elementos descartados; su base debe ser segura para impedir el vuelco; los tamaños y formas deben ser adecuados para los elementos que van a contener y deben contar con una tapa que garantice un sellado definitivo.
Residuos especiales	AMARILLO (Recomendada)	Los residuos deben separarse por constituyente (Y) y por su estado de segregación.
		La elección del envase depende del estado de agregación, tiempo previsto de acopio y las posibles reacciones del residuo.
		Recipientes rígidos, inertes a los residuos. Pueden ser reutilizables (plástico o metal inoxidable) o (descartable (cartón). Máx.: 20 L. Llenado: hasta 75%.
		Volátiles (polvos): envolver previamente en plástico o papel, o colocarlos dentro de bolsas.
	De alto micronaje (mayor o igual a 100 micrones)	Recipientes de residuos líquidos deben ser colocados sobre bateas o bandejas para contención de eventuales derrames.
		Se tendrá a disposición la hoja de seguridad del residuo.
		Recipientes rotulados previo a iniciar su uso.

Recipientes de contención primaria – Cantidad y ubicación

Las zonas donde se ubicarán los recipientes de contención primaria deberán estar correctamente señalizadas, bien ventiladas para evitar la acumulación de vapores y con protección para evitar los rayos directos del sol, fuentes de calor o inundaciones.

Actualmente, el Hospital cuenta con un registro de la cantidad necesaria de RCPs para evitar la acumulación de los residuos. Se enuncian aquí las unidades mínimas recomendadas. La corriente de residuos especiales no será gestionada por el equipo de gestión de residuos patogénicos sino por cada responsable de área (generador), en concordancia con el manejo que se lleva a cabo hoy en día en el establecimiento.

Se colocarán, sin considerar a priori la opción de separación en origen de los RSU, al menos:

- Pasillos
 - 2 contenedores para residuos patogénicos tipo B de 20 kg por cada sector de internación.
 - 4 contenedores de tamaño grande para residuos asimilables a domiciliarios por cada sector de internación.
- Habitaciones
 - 1 contenedor de tamaño chico para residuos patológicos tipo B por habitación.
 - 1 contenedor de tamaño chico para residuos asimilables a domiciliarios por habitación.
- Consultorios
 - 1 contenedor para residuos patogénicos tipo B de 20 kg.
 - 1 contenedor para residuos asimilables a domiciliarios.
 - 1 descartador de cortopunzantes (en los casos necesarios).
- Quirófanos, centro obstétrico, anatomía patológica y otros sectores donde se realicen procedimientos
 - 2 contenedores para residuos patogénicos tipo B de 20 kg.
 - 2 contenedores para residuos asimilables a domiciliarios.
 - 2 descartadores de cortopunzantes (en los casos necesarios).
- Farmacia y Laboratorio
 - 1 contenedor para residuos patogénicos tipo B de 20 kg.
 - 1 contenedor para residuos asimilables a domiciliarios.
- Cocina

- 4 contenedores para residuos asimilables a domiciliarios de 100 L.
- Oficinas
 - 1 contenedor para residuos asimilables a domiciliarios de 60 L.
- Salas de espera
 - 1 contenedor de 60 L cada 15 personas entre un turno de recolección y el siguiente.

Según lo informado por el Gobierno de la Nación Argentina en su web con base en los datos brindados por CEAMSE, la generación per cápita de RSU de Berazategui es de 0,596 kg.hab/día. Se estimó que cada persona en las salas de espera generará, como máximo, un cuarto del valor per cápita (0,149 kg.hab/día). La cantidad inicial de contenedores puede calcularse a partir de los registros de visitantes diarios del hospital. Se deberá estimar la cantidad de personas esperadas a ingresar y/o permanecer en el establecimiento durante las horas entre un turno de recolección y el siguiente. Se comenzará con un contenedor de 60 L cada 15 personas entre dos turnos de recolección, y se observará si su capacidad y la cantidad instalada son suficientes para almacenar los residuos generados. En caso de que sean insuficientes, se podrá optar por dos alternativas: se colocarán más cestos (no siendo recomendable por cuestiones de higiene y facilidad de manipulación el uso de contenedores de volumen mayor a 120 L) y/o se aumentará la frecuencia de recolección. La cantidad calculada inicialmente y la ubicación de los recipientes debe ser revisada y reevaluada periódicamente para ajustar el plan de gestión a la realidad del establecimiento. La generación de los distintos tipos de residuos variará en las distintas épocas del año debido a las personas que asistan al Hospital para tratamientos ambulatorios y la ocupación de camas, por lo que el equipo de gestión debe modificar la cantidad de contenedores disponibles. De esta manera, se evitará aumentar la permanencia de los residuos por estar a la espera del llenado de la bolsa y se optimizará la cantidad de bolsas utilizadas respetando los tiempos de recolección y un llenado eficiente.

Todas las oficinas administrativas del primer y segundo piso y salas como auditorio o Dirección, donde no se generan residuos patogénicos, contarán con un contenedor con bolsa negra de tamaño acorde a la cantidad de personas que lo ocupan.

Implementación de un Programa de Separación en Origen de los asimilables a domiciliarios

Se evaluará la posibilidad de implementar un Programa de Separación en origen para reducir al mínimo posible los residuos que son enviados a disposición, recuperar las fracciones

reciclables y gestionar interna o externamente la fracción orgánica compostable. Se tendrá como principio rector al principio de progresividad de la Ley General del Ambiente: *Los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos.*

Deberán implementarse gradualmente (siempre dentro de las capacidades económicas, de espacio y de personal del hospital) estrategias de separación en origen cada vez más minuciosas de manera de recuperar la mayor cantidad de residuos reutilizables, reciclables y compostables, y no contaminarlos con aquellos que deben ir a disposición final (con o sin tratamiento previo).

Para poder proponer una separación en origen de los residuos asimilables a domiciliarios es imperioso que la segregación básica y obligatoria en residuos sólidos urbanos/patogénicos tipo A, patogénicos tipo B y especiales sea realizada correctamente. De lo contrario, una fracción potencialmente recuperable podría contaminarse o enviarse con una corriente errónea.

Una vez realizados los esfuerzos y capacitaciones pertinentes para la correcta segregación básica y obligatoria, se podrá continuar con la implementación de estrategias de separación en origen más sofisticadas.

Se propone a continuación un nivel de complejidad creciente en tipos de estrategias que se adoptarán según la realidad del establecimiento. Cada una de ellas implica una mayor inversión económica ya sea por la necesidad de adquirir nuevos elementos o materiales, capacitar personal y/o implementar nuevas estructuras dentro del predio del hospital. Los contenedores respetarán el código armonizado para la identificación, clasificación y segregación de residuos domiciliarios de la Resolución 446/20 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se omiten los residuos patogénicos y especiales que resultan de las actividades de atención del hospital ya que forman parte de la separación obligatoria que es extensamente detallada en este proyecto. Se incluyen, sin embargo, aquellos residuos especiales y especiales de generación universal que surgen como consecuencia de las actividades de mantenimiento y servicios auxiliares del establecimiento. Cabe aclarar que estas corrientes de residuos especiales no tendrán un contenedor destinado al público en general ya que no es la intención ser utilizado como ecopunto por la población.

- Estrategia de segregación en origen básica no-obligatoria: Separación de residuos asimilables a domiciliarios en dos corrientes.
 - Corriente seca: Potencialmente reciclables. Incluye papeles, cartones, plásticos (PET, PEAD, PEBD, PP y PS), metales ferrosos y no ferrosos, vidrios, envases multilaminados y telas principalmente. Contenedor verde.
 - Corriente de rechazo: No reciclables. Incluye restos de comida, frutas y verduras, infusiones, grasas y aceites, desechos de animales, y/o aquellos residuos que por su grado de contaminación o por no haber técnica de valorización no se han podido reciclar. Contenedor negro.
- Estrategia de segregación en origen intermedia: Separación de residuos asimilables a domiciliarios en 5 corrientes y separación de residuos especiales de generación universal (REGUs).
 - Plásticos. Contenedor amarillo.
 - Vidrios. Contenedor blanco.
 - Papel y cartón. Contenedor azul.
 - Metales y latas. Contenedor gris.
 - Residuos Especiales de Generación Universal:
 - Pilas y baterías. Se pueden almacenar temporalmente en recipientes rígidos o semirrígidos de PET, PEAD o preferentemente en frascos de vidrio.
 - Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs). Debe tenerse en cuenta que, según el tipo de aparato, variará la manera en que debe ser almacenado.
 - Existen tanto REGU que entran en la categoría de RAEE, como REGU que están sujetos a la Ley de Residuos Peligrosos, como REGU que no pertenecen a ninguna de las clasificaciones anteriores. Para aquellos que no estén sujetos a la Ley 24051, se enuncian a continuación los requisitos: • Espacio bajo llave • Resguardado de altas temperaturas ambientales y condiciones climáticas. • Alejados de áreas de paso y de alto tránsito. • El lugar debe ser de uso exclusivo para depósito de estos materiales, no permitiendo almacenar insumos u otros materiales. • Las dimensiones del lugar deben ser adecuadas a la generación estimada de este tipo de residuos (UNCUYO, 2024).

- Corriente de rechazo. Contenedor negro.
- Estrategia de segregación en origen avanzada: Separación de residuos asimilables a domiciliarios en 5 corrientes y separación de residuos especiales de generación universal (REGUs) en 7 corrientes.
 - Plásticos. Contenedor amarillo.
 - Vidrios. Contenedor blanco.
 - Papel y cartón. Contenedor azul.
 - Metales y latas. Contenedor gris.
 - Residuos Especiales de Generación Universal:
 - Aceites vegetales y minerales usados
 - Pilas y baterías. Se pueden almacenar temporalmente en recipientes rígidos o semirrígidos de PET, PEAD o preferentemente en frascos de vidrio.
 - Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs). Debe tenerse en cuenta que según el tipo de aparato, variará la manera en que debe ser almacenado.
 - Lámparas de bajo consumo conteniendo mercurio
 - Cartuchos y tonners. Estos residuos deben resguardarse en su envoltorio de burbuja de polietileno original. De no ser posible, reemplazar el mismo por otro material acolchado, o polietileno en su defecto. Posteriormente, se almacena en cajas de cartón de 6mm de espesor, protegidos contra condiciones de temperatura y humedad.
 - Termómetros, tensiómetros
 - Pinturas y solventes
 - Existen tanto REGU que entran en la categoría de RAEE, como REGU que están sujetos a la Ley de Residuos Peligrosos, como REGU que no pertenecen a ninguna de las clasificaciones anteriores. Para aquellos que no estén sujetos a la Ley 24051, se enuncian a continuación los requisitos: • Espacio bajo llave • Resguardado de altas temperaturas ambientales y condiciones climáticas. • Alejados de áreas de paso y de alto tránsito. • El lugar debe ser de uso exclusivo para depósito de estos materiales, no permitiendo almacenar insumos u otros materiales. • Las dimensiones del lugar deben ser adecuadas a la generación estimada de este tipo de residuos (UNCUYO, 2024).

- Corriente de rechazo
 - Fracción orgánica compostable: Tipo de residuos orgánicos que sí puede incluir: restos de alimentos (cáscaras de frutas y verduras, cáscara de huevo, yerba, café); tapones de corchos. Tipos de residuos orgánicos que no se pueden incluir: pescado, carne, grasa, productos derivados de la leche, aceite de cocina, plantas enfermas. Contenedor marrón.
 - Residuos no recuperables: Todos los residuos que, por algún motivo, deben ser llevados a disposición final, porque no hay una alternativa de revalorización. Contenedor negro.

Compostaje de la fracción orgánica compostable

El compostaje es una práctica en la que se propicia la transformación biológica de los restos orgánicos para producir un mejorador de suelos llamado compost. Lo llevan a cabo microorganismos benéficos (hongos y bacterias) en presencia de oxígeno y humedad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Se propone evaluar la factibilidad de implementar un método de compostaje de la fracción orgánica compostable debido a que se genera una considerable cantidad de residuos orgánicos como producto de las actividades de la cocina y comedores. Dado que el diseño de un plan de compostaje en el establecimiento excede los objetivos del presente proyecto, se aconseja, en caso de querer ser implementado, utilizar como documento director los “Lineamientos para diseñar un Plan de Compostaje Institucional (PCI)” del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (2022). El mismo presenta los lineamientos a seguir: el relevamiento de la información, el diseño y equipamiento del PCI, los programas de sensibilización y capacitación, el procedimiento operativo, el equipo de trabajo, el programa de mejora continua y la consolidación de la práctica en los valores institucionales.

Se puede consultar el documento en el siguiente enlace web:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ar_cuadernillocompost.pdf

Finalmente, tal como lo informa el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022), el compostaje necesita de la colaboración de toda la comunidad institucional, y ello significa un cambio de hábitos que interpela a los usuarios de manera personal. Por esa razón, el plan de compostaje debe ser primeramente concebido como una estrategia de sensibilización, y

en segundo lugar como una estrategia de tratamiento. Esto permitirá fijar objetivos claros y alcanzables, en lugar de ideales irrealizables.

Recipientes de almacenamiento intermedio

El sector de almacenamiento intermedio actúa como el primer punto de acopio general para los residuos generados en los diferentes puntos de origen, antes de ser trasladados al sitio de acopio final dentro del hospital. Su función principal es facilitar la recolección interna, proporcionando una ubicación temporal mientras se completa el proceso de recolección. En el caso del Hospital Evita Pueblo, se evaluará la necesidad de colocar recipientes de almacenamiento intermedio cerca de los sectores de generación de residuos donde el ingreso o egreso del personal de recolección se encuentre restringido o limitado. En tales casos, el personal del sector será el encargado de depositar la bolsa de residuos o caja correctamente identificada y cerrada en estos recipientes.

Para evaluar y determinar la capacidad y, por ende, la cantidad de los recipientes se debe considerar:

- el tipo de elemento a contener;
- estado físico (sólido, sólido con líquido ocluido, líquido, cortopunzante);
- sus dimensiones;
- el peso que pudiesen alcanzar relacionado con el modo de transporte (manual o carro) desde el lugar de generación hasta su almacenamiento intermedio o final y
- el volumen generado en función del tiempo de permanencia en el área.

Los recipientes de almacenamiento intermedio deben contar con las siguientes características:

- Movibles
- Contar con tapa.
- Superficies interiores lisas con encuentro de paredes y fondo cóncavo.
- Material inerte resistente a la abrasión y a los golpes.
- Manijas que faciliten su movilización, y preferentemente ruedas de goma según los volúmenes.
- Base amplia para evitar su vuelco y de dimensiones acordes al recinto y al volumen a acopiar.

Las áreas donde se coloquen los recipientes deben estar señalizadas y ser de fácil higiene, alejadas de sitios de circulación de pacientes y público en general.

Las corrientes de residuos no deben mezclarse por lo cual se debe contar con un recipiente para cada tipo.

Transporte interno

Consiste en la recogida y transporte de los residuos generados en los distintos sectores hasta el almacenamiento final dentro del establecimiento.

Recolección

Residuos patogénicos tipo A y B

Los residuos se recolectarán por lo menos una vez por turno en horarios fijos. Se incrementará la frecuencia según la necesidad ante una mayor generación de residuos para evitar la acumulación de los residuos.

Cada tipo de residuos será recolectado por separado. Las bolsas recolectadas serán reemplazadas en ese mismo momento.

La recolección no se efectuará en los horarios de comida ni durante visitas o procedimientos quirúrgicos.

En los casos en que el personal de recolección no pueda acceder al área donde se encuentran los RCP por restricciones de ingreso o egreso, o porque no se permita el ingreso de los carros de transporte interno, el personal del sector debe disponerlos en los contenedores de almacenamiento intermedio.

Residuos Químicos

Los residuos químicos se retirarán cuando se complete el volumen de los recipientes de contención por lo que no se cuenta con una frecuencia determinada pero sí se podrá estimar teniendo en cuenta la generación de residuos como resultado de las actividades cotidianas de cada área donde se generan. Deben ser retirados del sitio de almacenamiento primario por personal capacitado, contando con medios de acarreo o colocados en recipientes cerrados a efectos de evitar derrames en caso de caídas. Los recipientes de contención primaria deben estar debidamente identificados según la sustancia que contengan y su nomenclatura de acuerdo a lo dispuesto por la ley, y transportarse en función de sus volúmenes en carros, contenedor transportable con ruedas o contenedores cerrados y con

asas. Los recipientes de residuos químicos líquidos deben estar sujetos durante su transporte. No se deben transportar residuos químicamente incompatibles entre sí simultáneamente en el mismo carro.

Transporte

La recolección y el transporte se realizarán siguiendo las rutas de recolección estipuladas, la cual estará debidamente señalizada. Las rutas de recolección se diseñarán de manera tal que eludan el contacto con áreas donde no se generen residuos patogénicos para evitar la exposición de personal y pacientes. Las rutas comenzarán desde los puntos más alejados a los sitios de acopio para hacer el recorrido más corto posible. Es responsabilidad del equipo responsable de la gestión de los residuos el diseño, revisión y actualización de las rutas de recolección.

El transporte de los residuos se realizará en equipos móviles como contenedores con ruedas o carritos. En caso de recolectar distintos tipos de residuos a la vez, el equipo debe contar con compartimentos para colocar de manera separada los residuos. En caso de no contar con la cantidad necesaria de carros para cada clase de residuos, se deberán establecer procedimientos de recolección diferenciada, efectuando una limpieza entre cambio de clase de residuos y aplicando el criterio de realizar primeramente el circuito de residuos menos peligrosos (residuos comunes) a más peligrosos.

Los carros recolectores deberán reunir las siguientes características:

- Ruedas de goma o similar. Es recomendable que las gomas sean de caucho para lograr un amortiguamiento apropiado.
- Caja de material plástico o metal inoxidable, de superficies lisas que faciliten su limpieza y desinfección.
- Deben ser de fácil carga y descarga.
- No deben tener bordes cortantes que puedan dañar las bolsas, bidones y cajas descartables, durante la carga y descarga.
- Ser de materiales resistentes a la exposición de agentes de limpieza comunes y a los golpes.
- Contar con un tamaño adecuado a la cantidad de residuos a recolectar y a las características edilicias del establecimiento.
- Ser estables para evitar accidentes o derrames por caídas y ser cómodos para el manejo.

- Los recipientes circularán cerrados.
- Se deberán mantener limpios, sin fisuras y las ruedas en buen estado.
- Su limpieza y desinfección, así como la de los contenedores, debe realizarse al término de cada jornada.

La higiene y desinfección de los carros de recolección/contenedor transportable con ruedas, de residuos patogénicos se debe realizar, por dentro y fuera del recipiente, por lo menos una vez por día y antes de iniciar cualquier tarea de mantenimiento en los mismos, y se hará de la siguiente manera según las recomendaciones de las Directrices Nacionales:

- Remoción de partículas mediante cepillo embebido con solución detergente y enjuague con abundante agua.
- Remoción y desinfección mediante paño de limpieza embebido en solución de hipoclorito de sodio con 1.000 ppm de cloro libre.
- Dejar secar al aire y no usar hasta que el carro esté seco.

Acopio final

El sitio de almacenamiento final de los residuos dentro del establecimiento consistirá en un local ubicado en áreas exteriores al edificio y de fácil acceso, resguardado del personal no autorizado y bajo ningún aspecto debe ser accesible a personas ajenas al personal. Cuando las características edilicias de los establecimientos ya construidos impidan su ubicación externa, se deberá asegurar que dicho local no afecte, desde el punto de vista higiénico, a otras dependencias tales como cocina, lavadero, áreas de internación, etc.

Sector de acopio final de Residuos patogénicos tipo B

El mismo contará con:

- Debe estar cubierto y resguardado del sol. Debe estar protegido de roedores, pájaros y otros animales.
- Debe estar destinado a almacenar solo este tipo de residuos.
- Debe ser fácil de limpiar. Piso, zócalo, sanitario y paredes lisas, impermeables, resistentes a la corrosión, de fácil lavado y desinfección. Piso con pendiente para favorecer el drenado de líquidos a la red de colección.
- Debe estar bien ventilado y bien iluminado. Aberturas para la ventilación, protegidas para evitar el ingreso de insectos o roedores.

- Suficiente cantidad de recipientes donde se colocarán las bolsas de residuos patogénicos. Los recipientes para residuos patogénicos B poseerán las siguientes características:
 - Tronco cónico (tipo balde), livianos, de superficie lisa para facilitar su lavado y desinfección, resistente a la abrasión y golpes, tapa de cierre hermético, asas para su traslado, de una capacidad máxima de 150 litros y mínima de 20 litros.
- Debe haber fácil acceso para los medios de transporte dentro y fuera del sitio. Amplitud suficiente para permitir el accionar de los carros de transporte interno.
- Balanzas para pesar los residuos patogénicos generados y cuyo registro se efectuará en planillas refrenadas por el responsable de su manejo y por la empresa contratada para su tratamiento.
- Debe estar cerrado y el acceso restringido únicamente a personas autorizadas. Identificación externa con la leyenda AREA DE DEPOSITO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS - ACCESO RESTRINGIDO. A este local accederá únicamente personal autorizado y en él, no se permitirá la acumulación de residuos por lapsos superiores a las 24 hs. Fuera del local y anexo a él, pero dentro del área de exclusividad, deberán existir instalaciones sanitarias para el lavado y desinfección del personal y de los recipientes y carros del transporte interno.
- Debe haber lavabos cerca.
- Debe contar con provisión de agua suficiente y con elementos de limpieza en cantidad y condiciones adecuadas para la higienización del mismo.
- Debe contar con extintores y medios de extinción adecuados.

Sector de acopio final de Residuos Especiales

El almacén de residuos peligrosos deberá cumplir como mínimo con las mismas especificaciones de diseño que las recomendadas para el almacén de residuos patogénicos. Deberá contar con áreas separadas para el almacenamiento de residuos genotóxicos, citotóxicos y químicos, todos debidamente acondicionados en contenedores específicos, cuyas características deberán cumplir con la regulación local.

Los requisitos mínimos para el almacenamiento de residuos especiales son los que se detallan a continuación:

- Tener previstos sistemas de contención de derrames, pisos impermeabilizados. Sistemas de carga y descarga seguros y todo lo necesario para garantizar la minimización de los efectos por contingencias.
- Para cada tipo de residuo especial deberá estar a disposición y de fácil acceso el plan de contingencia por accidentes y derrames.
- Los residuos especiales de diferentes características no podrán ser mezclados y deberán estar etiquetados para la identificación de su tipo, características, origen y destino final.
- Los residuos especiales de iguales características podrán mezclarse guardando un estricto control de las cantidades recibidas, almacenadas y despachadas, fácilmente comprobable ante inspección de la Autoridad de Aplicación.
- En el ingreso de cualquier tipo de residuo especial, deberá estar especificado previamente el operador destinatario de los mismos.
- Prever en los materiales para los envases o contenedores de residuos especiales, materiales inatacables químicamente, de adecuada resistencia física y sistemas antivuelco.
- Los residuos especiales que fueren almacenados o acumulados para su posterior uso como insumo, no perderán el carácter de tal, hasta no ser fehacientemente adquiridos por el usuario de los mismos. En estos casos, el período máximo para su almacenamiento es de un (1) año. Esta operatoria deberá ser solicitada a la Autoridad de Aplicación demostrando que la escala económica así lo justifica no pudiendo ser ofrecido al mercado directamente a costos comparables.
- Los almacenadores no podrán darles a los residuos especiales un destino distinto a lo acordado con el generador.
- Iluminación antiexplosiva.
- Extintores de incendio según riesgo.
- Lavaojos y ducha descontaminante para emergencias en lugar accesible.
- Demarcación del área de circulación mediante líneas amarillas de 10 cm de ancho en el piso.
- Para almacenar sustancias o residuos químicos en altura pueden utilizarse estanterías, las cuales deben estar sujetas a piso y/o pared. Las estanterías deben ser metálicas conectadas equipotencialmente y a tierra en caso de inflamables. También pueden utilizarse armarios especiales para inflamables.

- Los estantes deben indicar la corriente de residuo y su peligrosidad para evitar incompatibilidades. Los residuos químicos de mayor peligrosidad deben ser colocados en la parte inferior.
- Los residuos químicos sólidos deben almacenarse en bolsas amarillas dentro de contenedores. Los tambores deben almacenarse sobre tarimas de madera o plástico. Los bidones, sobre tarimas de madera o plástico o sobre estantes con cubetas de contención. Los envases más pequeños sobre cubetas de contención.
- El almacén debe tener puertas con cerradura cuya llave estará en poder del personal responsable del establecimiento.

Sector de acopio final de Residuos Sólidos Urbanos/Patogénicos tipo A

Contar con acceso restringido y permanecer cerrado con seguro en forma permanente, abriéndose solamente para depositar y retirar los residuos. El acceso y el cierre solo puede ser realizado por personal autorizado.

- Estar techado y ubicado donde no haya posibilidad de inundación.
- Contar con una rampa para el fácil acceso de los carros recolectores internos.
- Contar con sistemas de extinción de incendios (extintores tipo ABC).
- Contar con señalética adecuada, incluso un letrero que indique el tipo de residuo almacenado.
- Tener paredes y pisos lisos, de fácil lavado y desinfección, además de contar con un buen drenaje y ser estanco.
- No debe haber aberturas ni respiraderos; en caso de tenerlos, debe haber una malla de protección contra vectores.
- Contar con una báscula para el pesaje de los residuos y un sistema de registro.

Transporte externo, tratamiento y disposición final

Siempre se debe tener en cuenta la importancia del manifiesto, que es un documento en donde constan los datos del Generador, el Transportista y el Operador que tratará los residuos; esto marca la trazabilidad de dicho residuo.

El manifiesto es el documento en el que se detalla la naturaleza y cantidad de los residuos, su origen, transferencia del generador al transportista y de éste a la planta de tratamiento, almacenamiento o disposición final, así como los procesos de tratamiento y eliminación a los que fueren sometidos y cualquier otra operación que respecto de los mismos se realizare.

Residuos patogénicos tipo B

El generador deberá colocar en cada bolsa de residuo patogénico B una tarjeta de control, con los datos sobre la generación de tales residuos y datos referentes al despacho de los mismos. Los primeros deberán completarse en el momento del precintado de las bolsas; los segundos al momento del retiro de los residuos del establecimiento.

Todos los sujetos alcanzados por la reglamentación, deberán llevar la siguiente documentación:

- Una planilla de control de residuos patogénicos en la que se consignarán los datos esenciales de generación, tipo de residuo generado, tratamiento y destino final de los mismos.
- Toda documentación que acredite el tratamiento y destino final de sus residuos.

1.- TARJETAS DE CONTROL
DE RESIDUOS PATOGENICOS

A) Para establecimientos generadores

○

TARJETA DE CONTROL DE RESIDUOS

N° DE INSCRIPTO:

Generación:

Fecha:

Lugar:

Expedición:

Hora:

Fecha:

Cantidad de Residuos (Kg):

.....

Firma y aclaración
del responsable

Figura 44: Modelo de tarjeta de control de residuos patogénicos. Fuente: ANEXO VII - Dec. 450/1994.

Esta documentación deberá estar en forma permanente a disposición de la autoridad de aplicación y de la Subsecretaría de Control Sanitario del Ministerio de Salud. Los datos que

se requieren en las planillas podrán ser periódicamente actualizados por la autoridad de aplicación respectiva.

El transporte externo, tratamiento y disposición final estará a cargo de un tercero habilitado por la Autoridad de Aplicación de la Provincia de Buenos Aires.

El transporte deberá estar inscripto en el Registro de Transportistas de Residuos Patogénicos del Ministerio de Ambiente, cuya habilitación tendrá vigencia de dos años a partir de la fecha de expedición. La dotación de vehículos deberá ser de dos como mínimo para garantizar el servicio. Su uso debe ser exclusivo para el transporte de residuos patogénicos tipo B. Los requisitos mínimos a cumplir en el diseño de los camiones recolectores son los especificados por las leyes aplicables a cada corriente de residuos (ver Capítulo VII – Normativa aplicable a los residuos generados).

De la misma manera, los tratamientos previos a la disposición final estarán autorizados por la Autoridad de Aplicación.

Residuos Especiales

Las personas físicas o jurídicas responsables del transporte de residuos especiales deberán acreditar, para su inscripción en el Registro Provincial de Generadores y Operadores de Residuos Especiales.

El transportista, sólo podrá recibir del generador residuos especiales, si los mismos vienen acompañados del correspondiente manifiesto.

MANIFIESTO DE TRANSPORTE DE RESIDUOS ESPECIALES N° 000096

ORIGEN: GENERADOR, ALMACENADOR, TRATADOR (*)

RAZÓN SOCIAL: LOCALIDAD: N° C.H.E.:
DOMICILIO: CUIT:

COMPOSICIÓN DEL RESIDUO

CANTIDAD:
CORRIENTE DE DESECHO:
CARACTERÍSTICAS PELIGROSAS:
ESTADO FÍSICO:
DESTINO DEL RESIDUO:
OBSERVACIONES:

FIRMA RESPONSABLE, ACLARACIÓN Y DOCUMENTO:

DEL TRANSPORTISTA

RAZÓN SOCIAL: LOCALIDAD: N° C.H.E.:
DOMICILIO: CUIT:
IDENTIF. MOVIL:

FECHA Y HORA - FIRMA CHOFER, ACLARACIÓN, DOCUMENTO:

DESTINO: ALMACENADOR, TRATADOR, DISPOSICIÓN FINAL (*)

RAZÓN SOCIAL: LOCALIDAD: N° C.H.E.:
DOMICILIO: CUIT:
TIPO DE TRATAMIENTO: LUGAR DISP. FINAL:
FECHA Y HORA EN QUE SE EFECTUÓ EL TRATAMIENTO:

FIRMA RESPONSABLE, ACLARACIÓN, DOCUMENTO:

PARA EL OPERADOR
CONSTANCIA DE TRATAMIENTO DE RESIDUO ESPECIAL CORRESPONDIENTE AL MANIFIESTO N° 000096
DEL ESTABLECIMIENTO EL DIA:

PARA EL TRANSPORTISTA

REMITO AL OPERADOR LA CANTIDAD DE RESIDUOS ESPECIALES DE
ORIGINADA DEL ESTABLECIMIENTO CON LAS CARACTERÍSTICAS
DETALLADAS EN EL MANIFIESTO N° 000096

FIRMA Y ACLARACIÓN DEL OPERADOR:

PARA EL GENERADOR

REMITO AL TRANSPORTISTA LA CANTIDAD DE RESIDUOS ESPECIALES
DE CON LAS CARACTERÍSTICAS DETALLADAS EN EL MANIFIESTO N° 000096

FIRMA Y ACLARACIÓN DEL TRANSPORTISTA:

(*) Tachar lo que no corresponda

Figura 45: Manifiesto de transporte de residuos especiales. Fuente: Anexo III del Dec. 806/1997.

Residuos Sólidos Urbanos/ Patogénicos tipo A

Los residuos asimilables a domiciliarios serán recolectados al menos una vez al día por el servicio municipal.

Propuesta de alianza estratégica con la Municipalidad para la separación en origen

La Municipalidad de Berazategui cuenta con el programa “Berazategui Recicla” donde se recuperan fracciones reciclables en distintos ecopuntos de la ciudad y también son recolectados en origen, además de contar con un Centro Municipal de Gestión Sustentable de ramas, áridos, voluminosos y aparatos electrónicos.

Dado que la recolección de los residuos asimilables a domiciliarios es de gestión municipal y la ciudad cuenta con un sólido y activo programa de reciclaje y lugares destinados a la gestión de las distintas corrientes de residuos, se propone diseñar un esquema de trabajo en conjunto

con la Municipalidad de Berazategui para reforzar el compromiso del establecimiento con la gestión sustentable de los mismos.

Es pertinente aclarar que solo las primeras dos estrategias propuestas en el Programa de Separación en Origen pueden desarrollarse íntegramente en alianza con el Municipio (estrategia básica e intermedia), siendo necesaria la vinculación con otros organismos (públicos o privados) para la gestión de los REGUs no incluidos en el programa Berazategui Recicla.



Figura 46: Ecopunto de recuperación en la Ciudad de Berazategui gestionada por el Municipio.
Fuente: <https://berazategui.gob.ar/noticias/berazategui-ya-tiene-50-ecopuntos-y-dos-centros-de-acopio-y-seleccion/>



Figura 47: Centro Municipal de Gestión Sustentable gestionada por el Municipio de Berazategui.
Fuente: <https://berazategui.gob.ar/noticias/berazategui-ya-tiene-50-ecopuntos-y-dos-centros-de-acopio-y-seleccion/>

Comunicación interna

Señalética

El uso de señalética de prevención de riesgos como de adecuada segregación es fundamental para la correcta gestión y debe acompañar a los RCP, tanto como placas o adhesivos.

En Argentina no existe una clasificación unificada cada respecto de los residuos de establecimientos de salud, según la normativa vigente. A los efectos de contar con una unificación de los conceptos, la Unidad de Investigación y Desarrollo Ambiental del Ministerio de Salud de la Nación ha desarrollado una clasificación que permite agrupar aquellos residuos que indican potencial o real infecciosidad (patogénicos, patológicos, biológicos, infecciosos, biopatogénicos, etc.) bajo el concepto de “residuos biocontaminados”. De esta forma es posible respetar la normativa nacional y provincial existente, uniformando términos respecto de la clasificación de residuos de establecimientos de salud.

El tipo de señal y ubicación se colocará según lo establecido por la Resolución 1792/2014 del Ministerio de Salud de la Nación.

Tabla LXIV: Ubicación de las señales y tipo de señalización. Fuente: Resolución 1792/2014 del Min. de Salud de la Nación.

Lugar	Señalización
Carros y contenedores	• Residuos Biopatogénicos • Residuos Químicos • Residuos Comunes • Residuos Reciclables
Paredes	• Indicaciones para la Segregación de residuos • Plano de ubicación de recipientes de contención en el sector de generación de residuos • Plano de circuitos de recolección y transporte de residuos • Plano interno de sitios de almacenamiento de residuos químicos • Incompatibilidad de productos químicos • Uso de Elementos de Protección Personal para manipulación (acopio, traslado) de residuos. Otras señales que deben estar presentes: • Ubicación de Kit para intervención ante derrames. • Ubicación de matafuegos • Salidas de emergencia • Recorridos de evacuación • Botiquín de primeros auxilios • Lavaojos y duchas de emergencia en sitios de almacenamiento de productos químicos • Teléfonos ante emergencias. • Plan escrito de contingencias y procedimientos específicos.
Puertas	• Áreas Restringidas • Almacenamiento intermedio/final
Estanterías	• Ubicación de productos según incompatibilidades • Ubicación de residuos por corriente de desechos
Piso	• Delimitación de vías de circulación / zonas de tránsito • Delimitación de zonas al interior de sitios de almacenamiento intermedio/final
Ascensor	• Cartel para advertencia de uso de ascensor para residuos: disponible para colocar en ascensor en uso con residuos.

En este proyecto, se utilizará la señalética propuesta por el Ministerio en su “Guía de señalética para la gestión de residuos en establecimientos de salud”. Se presentan a continuación las placas 1, 2 y 3 sobre tipos de residuo y la correcta segregación.



Figura 48: Señalética rígida. Placas de atención para disponer en paredes visibles y lugares estratégicos. Fuente: Placa 1 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.



Figura 49: Señalética rígida. Placas de atención para disponer en paredes visibles y lugares estratégicos. Fuente: Placa 2 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.



Figura 50: Señalética rígida. Placas de concientización para personal y público. Fuente: Placa 3 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Las placas específicas de residuos 4, 5, 6 y 7, advierten sobre la adecuada segregación: se han diseñado en dos tamaños para ser dispuestas en paredes por sobremesadas o en paredes libres. Es recomendable que estas placas se ubiquen en la pared, por encima de los contenedores de residuos específicos, lo que permite frente a alguna duda discernir en que contenedor debe segregarse el residuo.



Figura 51: Señalética rígida. Placas específicas para la adecuada segregación. Fuente: Placas 4, 5, 6 y 7 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Para los almacenamientos intermedios, se han diseñado las correspondientes placas de ingreso restringido (Placa 8 y 9). Estas se deberán incorporar a las puertas de cada sector de almacenamiento. En caso que los almacenamientos sean compartidos, se deberán disponer las dos placas.



Figura 52: Señalética rígida. Placas para almacenamiento intermedio. Fuente: Placas 8 y 9 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Las placas de almacenamiento final son exclusivas para el local donde se acopian los residuos hasta su recolección por el transportista autorizado. Los locales de almacenamiento final deben ser únicos de acuerdo al tipo de residuo a depositar transitoriamente y deberán llevar la placa correspondiente. En caso de imposibilidad de contar con locales exclusivos, el almacenamiento final deberá contar en su puerta de acceso con las placas que identifican los residuos almacenados transitoriamente y en su interior deberá contar con sectores restringidos con la correspondiente placa, según el tipo de residuos almacenado en el sector (Placa 10 y 11).



Figura 53: Señalética rígida. Placas 10 y 11 para almacenamiento final de residuos. Fuente: Placas 10 y 11 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

La placa 12 sobre el uso de elementos de protección personal debe colocarse en el sector de lavado de carros y contenedores de residuos del establecimiento y en los locales de almacenamiento transitorio y final de residuos. La placa 13 sobre respeto de los procedimientos debe disponerse en paredes de todos los servicios.



Figura 54: Señalética rígida. Placas para el personal. Fuente: Placas 12 y 13 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Las placas de incompatibilidad química (Placa 14 y 15) deben disponerse en las paredes de laboratorios y todo otro sector donde se manipulen sustancias químicas.

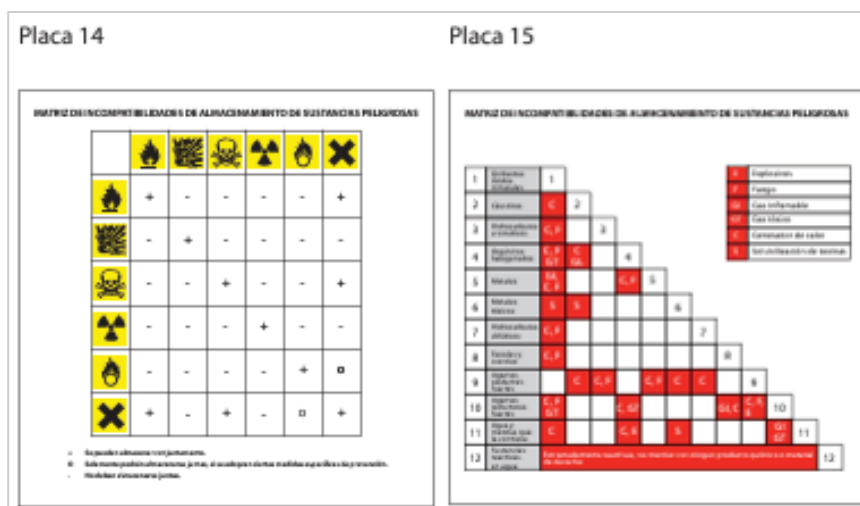


Figura 55: Señalética rígida. Placas de incompatibilidad química. Fuente: Placas 14 y 15 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Las placas 16, 17 y 18 de riesgos han sido diseñadas, en particular para los laboratorios y los sectores de acceso restringido, donde no está permitido el paso de pacientes o público en general. Deben colocarse en las puertas de los sectores en donde no está permitido el acceso. De acuerdo al tipo de riesgo existente en el sector, se colocará la placa correspondiente.



Figura 56: Señalética rígida. Placas de tipo de riesgo. Fuente: Placas 16, 17 y 18 de la Guía de Señalética del Ministerio de Salud de la Nación.

Elementos de Protección Personal y salud del trabajador

Se presentan a continuación los elementos de protección personal (EPP) que deben ser utilizados por los trabajadores según situación de riesgo en la gestión de residuos.

Tabla LXV: Guía de EPP según riesgo y actividad en la gestión de los residuos. Fuente: Directrices Nacionales para la Gestión de Residuos en Establecimientos de Atención a la Salud.

Actividad	Mameluco	Trajes tipo Tyvek o similar	Delantal impermeable	Botas de goma	Casco	Guantes	Protección ocular	Protector facial	Protección Respiratoria
Recolección biopatogénicos	X		X	X		X	X	X	X (1)
Recolección químicos	X		x	x		X		X	X (2)
Transporte interno	X		x	X		X	X		X (2)
Almacenamiento biopatogénicos	X		X	X		X	X	X	X (1)
Almacenamiento químicos	X		X	X		X	X	X	X (2)
Carga y Descarga	X		X	X	X (3)	X			X (2)
Conducta ante emergencias	X	x	X	x		x		x	X (2)

1 Máscara N95; 2 Máscara respiratoria (3) Según análisis de riesgo de la tarea

Vigilancia médica

Con el fin de monitorear la salud de los trabajadores, la legislación laboral exige la realización de exámenes médicos en diferentes etapas del ciclo laboral, considerando los agentes de riesgo a los que están expuestos. Todos los trabajadores tienen el derecho y la obligación de someterse a exámenes de ingreso y periódicos. Además, se llevará un registro del personal expuesto a material biológico o compuestos químicos, que incluirá el número de exámenes de salud realizados (pre-ocupacionales y periódicos) y las fechas correspondientes (Directrices Nacionales para la Gestión de Residuos en Establecimientos de Atención a la Salud, 2016).

La historia clínica y todos los exámenes de salud realizados al trabajador, desde el examen de ingreso en adelante, deberán ser conservados en el Servicio Médico durante un período de hasta 10 años después de finalizada la exposición laboral. En casos de exposición a residuos que contengan sustancias cancerígenas, este plazo se extenderá hasta 40 años después de la última exposición conocida. Los resultados de los exámenes serán comunicados a los trabajadores de manera oportuna y adecuada (Directrices Nacionales para la Gestión de Residuos en establecimientos de Atención a la Salud, 2016).

Capacitación

Es fundamental implementar un programa de capacitación que informe al personal encargado del manejo de residuos sobre los riesgos asociados a sus labores, las medidas preventivas a seguir y los métodos de trabajo adecuados. El contenido de este programa deberá ser revisado periódicamente y actualizado según sea necesario.

Se sugiere realizar cursos de capacitación de manera regular para refrescar los conocimientos adquiridos y formar al personal nuevo o a aquellos que hayan asumido nuevas responsabilidades.

Los instructores deben contar con experiencia en enseñanza y capacitación, además de estar familiarizados con los riesgos y las prácticas relacionadas con el manejo de residuos. Las necesidades de capacitación variarán según el tipo de operaciones que realice el personal.

Para asegurar un manejo seguro y responsable de los residuos, se recomienda que el personal encargado reciba capacitación en los siguientes aspectos clave:

- **Riesgos Ambientales y Sanitarios:** Proporcionar información sobre los peligros asociados al manejo de residuos, incluyendo sus posibles efectos en la salud y el ambiente.
- **Uso de Elementos de Protección Personal:** Instrucciones claras sobre cómo utilizar adecuadamente los equipos de protección personal necesarios para minimizar riesgos.
- **Legislación Ambiental y Sanitaria Vigente:** Capacitar al personal sobre las normativas actuales que regulan el manejo de residuos, asegurando el cumplimiento legal.
- **Plan de Manejo del Generador:** Familiarizar al personal con el plan de manejo de residuos elaborado por el generador, que detalla los procedimientos específicos a seguir.
- **Procedimientos de Manejo Interno:** Instrucciones sobre los procedimientos internos establecidos para el manejo seguro y eficiente de los residuos.
- **Responsabilidades Asignadas:** Clarificar las responsabilidades de cada miembro del equipo en relación con el manejo de residuos.
- **Procedimientos ante Derrames y Accidentes:** Capacitación sobre los protocolos a seguir en caso de derrames o accidentes, asegurando una respuesta rápida y efectiva.

La población objetivo de los programas de capacitación incluye a todo el personal del establecimiento. Por lo tanto, las capacitaciones deben adaptarse a las responsabilidades específicas de cada nivel, diferenciándose según la fase del manejo de residuos que se deba cumplir. El personal nuevo que se incorpore al establecimiento, así como aquellos que cambien de área de trabajo, deben recibir una re-capacitación, independientemente del curso programado en el plan anual.

Es fundamental que todas las actividades de capacitación sean registradas y acreditadas de manera individual.

Registro

Se listan a continuación los registros y documentación relevantes para la gestión de residuos que deberán llevarse a cabo en el establecimiento.

- Cantidad, naturaleza, origen y código de identificación de los residuos. Planilla de pesada de residuos por clase.

- Tiempos de acopio de residuos.
- Cumplimiento del Plan de Inmunizaciones.
- Entrega de elementos de protección personal.
- Accidentes relacionados a residuos.
- Capacitación del personal en el tema y la capacitación específica del personal destinado a la gestión de residuos.
- Recepción del manifiesto de transporte.
- Recepción del certificado de tratamiento y disposición final.

Los registros requieren la definición de responsables de su elaboración, implementación y guarda, así como definición de los tiempos y sitios o modos de guardado.

Plan de contingencias

Medidas de emergencia en caso de derrames o contaminación de superficies

Derrames de material biológico infeccioso sobre un colchón o en el suelo

- Cambiar inmediatamente las batas y ropa que esté visiblemente sucia.
- Advertir a los demás compañeros presentes y proteger la zona contaminada.
- Usar guantes desechables y, en caso de presencia de aerosoles, gafas y un respirador para protegerse de partículas (FFP1 o FFP2).
- Cubrir la zona contaminada con papel absorbente empapado en desinfectante.
- Cubrir la zona contaminada con un desinfectante, trabajando en círculos concéntricos desde los bordes hacia el centro. Evite rociar el desinfectante o verterlo desde una altura, ya que esto puede producir aerosoles.
- Dejar que el desinfectante haga efecto, según sus propiedades (generalmente al menos 3 minutos).
- Pasar una esponja por la zona y depositar todos los residuos y material sucio en el contenedor adecuado (residuos infecciosos). Mucho cuidado con los fragmentos de objetos punzantes, que hay que recoger con unas pinzas y colocar en el contenedor de objetos punzantes.
- Desinfectar todos los elementos del colchón, la superficie de muebles o equipos que puedan haber sido contaminados.
- Quitar el equipo de protección personal, eliminar el material contaminado en el contenedor de residuos infecciosos y esterilizarlo en autoclave (o, si no hay autoclave, incinerarlo).

- Desinfectarse las manos.
- Registrar el accidente.

Tabla LXVI: Equipo para la intervención de derrames de residuos biopatogénicos. Fuente: Directrices nacionales para la gestión de residuos en establecimientos de atención de la salud (2016)

Categoría	Insumo
Elementos de contención y limpieza del derrame	1. Señales para comunicar el aislamiento del área. 2. Material absorbente dependiendo de la magnitud del derrame (toallas de papel, arena, inertes, trapos). 3. Desinfectante concentrado (por ejemplo, hipoclorito de sodio con una concentración de 10.000 ppm de cloro libre u otro desinfectante que se considere adecuado para el lugar). 4. Agua (rociador, manguera, tachos) evaluando su elección en función del desinfectante y evitando generar aerosoles. 5. Bolsas de residuos; recipientes especiales de contención; bolsas de bioseguridad para autoclaves (acorde al residuo o área de generación para derrames en ámbitos físicos determinados y con la presencia de personal calificado). 6. Contenedor para objetos corto punzantes. 7. Palas, cepillos, escobas, pinzas para recoger restos de vidrio, metal, otros. 8. Sunchos, rotuladores y etiquetas.
Equipos de protección personal	1. Guantes de látex de uso industrial / neoprene / nitrilo. 2. Antiparras/ protección facial. 3. Barbijo N95 / N100. 4. Delantal impermeable. 5. Botas de goma.
Elementos de descontaminación e higiene personal	Agua, jabón, toallas, lavaojos.

Procedimiento en caso de derrame de productos químicos

- Advertir a las personas que se encuentren en las inmediaciones.
- Poner bata, guantes y gafas protectoras.
- Evitar respirar los vapores.
- Si las sustancias derramadas son inflamables, apagar todas las fuentes de ignición y calor.
- Abrir las ventanas y ventilar el área; cerrar las puertas de las habitaciones afectadas.
- Cubrir el derrame con material absorbente (pañó absorbente o gránulos), trabajando desde los bordes hacia el centro en círculos concéntricos.
- Mezclar suavemente con una espátula de madera hasta que todo el químico derramado se haya absorbido por completo.

- Desechar el granulado o el paño como residuo especial.
- Limpie a fondo la zona sucia con agua (¡a menos que el producto químico en cuestión sea incompatible con el agua!).

Tabla LXVII: Equipo para la intervención en derrames de residuos químicos/especiales. Fuente: Directrices nacionales para la gestión de residuos en establecimientos de atención de la salud (2016).

Categoría	Insumo
Elementos de contención y limpieza del derrame	1. Señales de advertencia. 2. Agua (rociador, manguera, tachos) evaluando su elección en función del desinfectante y evitando generar aerosoles. 3. Barreras físicas y elementos absorbentes dependiendo de la magnitud del derrame (arena, inertes, paños de limpieza). 4. Bolsas de polietileno de alta densidad; recipientes especiales de contención; rotuladores y etiquetas, precintos. 5. Palas, cepillos, detergente, pinzas para recoger restos de vidrio, metal, otros. 6. Envases o recipientes para eventuales trasvases. 7. Hojas de seguridad de los productos.
Equipos de protección personal	8. Guantes de neoprene/ nitrilo. 9. Antiparras/ protección facial. 10. Mascara de doble filtro para fibras, solventes, vapores orgánicos. 11. Delantal impermeable / traje tipo Tyvek según grado de peligrosidad de los químicos involucrados. 12. Botas de goma.
Elementos de descontaminación e higiene personal	1. Agua, jabón, toallas. 2. Lavaojos y ducha de emergencia. 3. Ropa de recambio.

Procedimiento ante derrames de mercurio

- Delimitar la zona a descontaminar y prohibir el acceso.
- Es imprescindible recoger todo el mercurio derramado (también comprobar debajo de los instrumentos, en grietas, etc.) sin dispersarlo. Utilice guantes desechables (de un solo uso). Utilice una esponja de mercurio, una pipeta de vidrio o plástico o dos hojas de papel para recoger las perlas de mercurio (no utilice un cepillo, una escoba ni una aspiradora).

- Coloque el mercurio y el equipo de recolección en un recipiente a prueba de fugas. Cierra bien el envase, etiquétalo como residuo especial de mercurio y llévalo a la farmacia.
- Ilumine la zona con un haz de luz (con una linterna, por ejemplo) para comprobar que se han recogido todas las perlas de mercurio.

Medidas de emergencia en caso de contaminación de personas

Salpicaduras de productos químicos en piel y ojos

- Enjuagar bien las zonas expuestas con agua durante 15 minutos, sin frotar. No utilizar agente neutralizante ni ningún otro producto (detergente, crema, etc.).
- Si el químico ha entrado en el ojo, enjuáguelo con agua corriente durante 10 a 30 minutos (abriendo bien los párpados, manteniendo la cabeza inclinada hacia un lado con el ojo afectado más abajo). Consultar urgentemente a un oftalmólogo.
- Utilizando guantes, quitar con cuidado la ropa contaminada (en caso de quemaduras químicas).
- Buscar atención médica urgentemente.

Procedimiento en caso de ingestión de sustancias químicas

- Enjuagar abundantemente la boca con agua.
- No inducir el vómito ni darle nada de beber a la persona.
- Buscar atención médica urgentemente.

Procedimiento en caso de inhalación de gases tóxicos

- Abandone inmediatamente la zona contaminada.
- Buscar atención médica urgentemente, incluso si no hay síntomas.

Teléfonos útiles

BOMBEROS (Cuartel Berazategui)	4256-2222
BOMBEROS (Cuartel Hudson)	2000-0746
POLICÍA (Comisaría 2º - Ranelagh)	4258-8551 / 4258-8788 / 4223-1825
POLICÍA (Comisaría 1º - Berazategui Centro)	4256-1133 / 4256-2532

Capítulo XII– Conclusiones

Como resultado de este proyecto se lograron los objetivos generales y específicos propuestos. Esto requirió un intenso trabajo de análisis de grandes volúmenes de información en bibliografía, así como también el conocimiento sobre normativa internacional y directrices de instituciones científicas sobre una temática en auge. Se observó que el efluente hospitalario, a diferencia del de otras actividades, no puede ser estandarizado y su caracterización a partir de bibliografía exige un análisis altamente criterioso según las características del establecimiento en estudio. Por otro lado, la selección de una alternativa de tratamiento también tuvo una dificultad adicional respecto a las industrias clásicas ya que, al ser una temática en estudio relativamente nueva, no todas las tecnologías presentadas en bibliografía son factibles de ser escaladas.

A pesar de la complejidad de los objetivos, se pudo diseñar exitosamente una planta de tratamientos de efluentes líquidos adaptada a las características del hospital en cuestión, donde el foco fue puesto en la remoción de contaminantes de preocupación emergente aún no regulados en la actualidad. Las unidades de tratamiento no solo fueron elegidas por su alta eficiencia, sino que también se ponderaron criterios económicos y de escalabilidad de acuerdo a las posibilidades del establecimiento.

Se realizó el cómputo de todos los gastos para implementar el proyecto obteniendo así un presupuesto que será requerido al momento de pedir financiamiento a entidades comprometidas con la mejora en la calidad de vida de las personas y la salud ambiental. Este es un proyecto que propone anticiparse a los cambios en las regulaciones que se darán en el futuro, bajo la premisa de que la normativa siempre tiende a ser más exigente.

Como parte del Estudio de Impacto Ambiental presentado, se concluyó que el proyecto es social y ambientalmente viable. Se presentó, asimismo, el Plan de Gestión Ambiental para todas las etapas que lo componen.

Finalmente, se abordó la problemática de la generación de residuos en el hospital y se elaboró en su totalidad el Plan de Gestión de Residuos para el correcto manejo de los residuos patogénicos, especiales y asimilables a domiciliarios.

Este Proyecto Final Integrador nació de la necesidad de poner en agenda la búsqueda y propuesta de soluciones a una problemática actual en pos de prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales que hoy en día ya son una realidad.

Referencias

- Ajala, O., Tijani, J., Salau, R., Abdulkareem, A. y Aremu, O. (2022). *A review of emerging micro-pollutants in hospital wastewater: Environmental fate and remediation options*.
- Al Aukidy, M., Verlicchi, P. y Voulvoulis, N. (2014). *A framework for the assessment of the environmental risk posed by pharmaceuticals originating from hospital effluents*.
- Programa de Estudios del Conurbano (2024). *Atlas del Conurbano Bonaerense – Berazategui*. Recuperado de: <https://www.atlasconurbano.info/pagina.php?id=184>
- Auge, M. (2005). *Perforaciones hidrogeológicas*. Recuperado de: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/153276>
- Auge, M. (2022). *Ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires*. Recuperado de: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154035>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2022). *Hospitales + limpios: guía para la gestión de residuos en establecimientos de salud*. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/hospitales-limpios-guia-para-la-gestion-de-residuos-en-establecimientos-de-salud>
- Barbosa, M. et al. (2016). *Occurrence and removal of organic micropollutants: An overview of the watch list of EU Decision 2015/495*.
- Berto, J., Rochennach, G., Barreiros, M., Correa, A., Peluso-Silva, S. y Radetski, C. (2009). *Physico-chemical, microbiological and ecotoxicological evaluation of a septic tank/Fenton reaction combination for the treatment of hospital wastewaters*.
- Cararro, E., Bonetta, Si., Bertino, C., Lorenzi, E., Bonetta, Sa. Y Gilli, G. (2016). *Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries*.
- Carriquiriborde, P. y Somoza, G. (2015). *¿Representan nuestros efluentes cloacales un riesgo para los sistemas acuáticos y la salud?*. Ciencia e Investigación – Tomo 65 N°2.
- Comisión de bioseguridad e higiene facultad de ciencias médicas UNLP. *Protocolo de procedimiento para el manejo de residuos patogénicos*. Recuperado de: <https://www.med.unlp.edu.ar/images/bioseguridad/PROTOCOLO%20PROCEDIMIENTOS%20MANEJO%20RESIDUOS%20PATOGENICOS%20FCM.pdf>
- Degremont (1979). *Manual técnico del agua*. Rueil-Malmaison Cedex, France, Ed. Grafo S.A., Bilbao. España.

- El Ogri, F., Ouazzani, N., Boraam, F. y Mand, L. (2016). *A survey of wastewaters generated by a hospital in Marrakech city and their characterization.*
- Emmanuel, E. (2004). *Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater.*
- Fatimazahra, s., Latifa, M., Laila, S. y Monsif, K. (2023). *Review of hospital effluents: special emphasis on characterization, impact, and treatment of pollutants and antibiotic resistance.*
- Flygt, Xylem (2004). *Diseño y dimensionamiento de un pozo de bombeo.*
- Gonzalez, N. (2005). *Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires.* Recuperado de: https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/NATURALIS_aa6375647a65d74c8b5b45e8a44ede31
- Guyer, J. (2013). *An Introduction to Industrial Wastewater Collection and Treatment.* Recuperado de: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Intro%20to%20Industrial%20Wastewater%20Coll%20&%20Treat.pdf>
- Hocaglu, S., Celebi, M., Basturk, I y Partal, R. (2021). *Treatment-based hospital wastewater characterization and fractionation of pollutants.*
- International Committee of the Red Cross (2011). *Medical Waste Management.* Recuperado de: <https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/en/assets/files/publications/icrc-002-4032.pdf>
- Khan, M., Shah, I., Ihsanullah, I., Naushad, Mu., Ali, S., Shah, S. y Mohammad, A. (2021). *Hospital wastewater as a source of environmental contamination: An overview of management practices, environmental risks, and treatment processes.*
- Khan, N., Khan, S., Ahmed, S., Farooqi, I., Yousefi, M., Mohammadi, A. y Changani, F. (2019). *Recent trends in disposal and treatment technologies of emerging-pollutants – A critical review.*
- Krzeminski, P., Tomei, M., Karaolia, P., Langenhoff, A., Almeida, M., Felis, E., Gritten, F., Andersen, H., Fernandes, T., Manaia, C., Rizzo, L. y Fatta-Kassinos, D. (2019). *Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review.*
- Magdaleno, A., Juárez, A., Dragani, V., Saenz, M., Paz, m. y Moretton, J. (2014). *Ecotoxicological and Genotoxic Evaluation of Buenos Aires City (Argentina) Hospital Wastewater.*

- Majumder, A., Gupta, A., Ghosal, P y Varma, M. (2021). *A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2.*
- Manasfi, R. et al. (2021). *Impact of long-term irrigation with municipal reclaimed wastewater on the uptake and degradation of organic contaminants in lettuce and leek.*
- Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.* 5th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina (2022). *Lineamientos para diseñar un Plan de Compostaje Institucional (PCI).* Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ar_cuadernillocompost.pdf
- Ministerio de Salud Presidencia de la Nación (2014). *Proyecto “demostración y promoción de las mejores técnicas y prácticas para la reducción de desechos generados por la atención de la salud a fin de prevenir emisiones de dioxinas y mercurio al ambiente” (gef-pnud arg 09/002).* Recuperado de: <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/demostracion-y-promocion-de-las-mejores-tecnicas-y-practicas-para-la-reduccion-de-desechos>
- Ministerio de Salud Presidencia de la Nación (2016). *Directrices nacionales para la gestión de residuos en establecimientos de atención de la salud - Resolución MSN 134/2016.* Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/res_msn_134-16_directrices_nacionales_greas.pdf
- Mishra, R., Mentha, S., Misra, Y. y Dwivedi, N. (2023). *Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research.*
- Oliveira, T., Murphy, M., Mendola, N., Wong, V., Carlson, D. y Waring, L. (2015). *Characterization of Pharmaceuticals and Personal Care products in hospital effluent and waste water influent/effluent by direct-injection LC-MS-MS.*
- Orias, F. y Perrodin, Y. (2013). *Characterisation of the ecotoxicity of hospital effluents: A review.*
- Parida, V., Sikarwar, D., Majumder, A. y Gupta, A. (2022). *An assessment of hospital wastewater and biomedical waste generation, existing legislations, risk assessment, treatment processes, and scenario during COVID-19.*
- Pariente, M., Segura, Y., Álvarez-Torrellas, S., Casas, J., Pedro, Z., Díaz, E., García, J., López-Muñoz, M., Marugán, J., Mohedano, A., Molina, R., Munoz, M., Pablos, C., Perdigón-Melón, J., Petre, A., Rodriguez, J., Tobajas, M. y Marínez, F. (2022). *Critical review of*

technologies for the on-site treatment of hospital wastewater: From conventional to combined advanced processes.

- Pistocchi, A., Andersen, H., Vertanza, G., Brander, A., Choubert, J., Cimbritz, M., Drewes, J., Koehler, C., Krampe, J., Launay, M., Nielsen, P., Obermaier, N., Stanev, S. y Thornberg, D., (2022). *Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications.*
- Prasertkulsak et al. (2019). *Removals of pharmaceutical compounds at different sludge particle size fractions in membrane bioreactors operated under different solid retention times.*
- Presidencia de la Nación (2020). Nota periodística: *Avanzan los estudios epidemiológicos de COVID-19 en aguas cloacales.* Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/avanzan-los-estudios-epidemiologicos-de-covid-19-en-aguas-cloacales>
- Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V., Dolic, M., Gernjak, W., Heath, E., Tumbas, I., Karaolia, P., Ribeiro, A., Mascolo G., McArdell, C., Schaar, H., Silva, A. y Fatta-Kassinos, D. (2019). *Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater.*
- Saba, B., Hasan, S., Kjellerup, B. y Christy, A. (2021). *Capacity of existing wastewater treatment plants to treat SARS-CoV-2. A review.*
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. *Guía de señalética para la gestión de residuos en establecimientos de salud.* Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guiasenaleticagestresiduos.pdf>
- The PILLS-partnership (2013). *Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources. Final report of the European cooperation project PILLS.*
- Universidad Nacional de Cuyo (2024). *Residuos Especiales de Generación Universal (REGU): Manual para su gestión, almacenamiento y actuación ante incidentes en la Universidad Nacional de Cuyo.* Recuperado de: <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/c6fbfb9ceea89115cc80dc86c6d48682.pdf>
- US EPA (2007). *Membrane Bioreactors - Wastewater Management Fact Sheet.* Recuperado de: <https://www.epa.gov/sustainable-water-infrastructure/membrane-bioreactors-wastewater-management-fact-sheet>
- US EPA (2023). *Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination.* Recuperado de: <https://www.epa.gov/ccl>

- Verlicchi, P. (2021). *Trends, new insights and perspectives in the treatment of hospital effluents*.
- Verlicchi, P., Aukidy, M. y Zambello, E. (2015). *What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? – An overview and a discussion on perspectives*.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M. y Barceló, D. (2010). *Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options*.
- Verlicchi, P., Aukidy, M., Galletti, A., Petrovic, M. y Barceló, D. (2012). *Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment*.
- World Health Organization (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*. ISBN: 9789241548564.
- World Health Organization (2022). *Global analysis of health care waste in the context of covid-19*. ISBN 978-92-4-003961-2.

Anexos

Anexo Capítulo VI

Tabla LXVIII: Tabla detallada de caudales. Datos del hidrograma para un día de temperaturas promedio, un día estándar de verano y uno de invierno.

DÍA PROMEDIO	
Hora	Q (m3/h)
0-1	8,04
1-2	5,63
2-3	5,63
3-4	5,63
4-5	5,63
5-6	5,63
6-7	5,63
7-8	5,63
8-9	9,65
9-10	9,65
10-11	9,65
11-12	9,65
12-13	9,65
13-14	9,65
14-15	9,65
15-16	9,65
16-17	9,65
17-18	8,04
18-19	8,04
19-20	8,04
20-21	8,04
21-22	8,04
22-23	8,04
23-00	8,04
TOTAL (m3/día)	190,5

DÍA ESTÁNDAR VERANO	
Hora	Q (m3/h)
0-1	19,30
1-2	13,51
2-3	13,51
3-4	13,51
4-5	13,51
5-6	13,51
6-7	13,51
7-8	13,51
8-9	23,16
9-10	23,16
10-11	23,16
11-12	23,16
12-13	23,16
13-14	23,16
14-15	23,16
15-16	23,16
16-17	23,16
17-18	19,30
18-19	19,30
19-20	19,30
20-21	19,30
21-22	19,30
22-23	19,30
23-00	19,30
TOTAL (m3/día)	457,32

DÍA ESTÁNDAR INVIERNO	
Hora	Q (m3/h)
0-1	4,82
1-2	3,38
2-3	3,38
3-4	3,38
4-5	3,38
5-6	3,38
6-7	3,38
7-8	3,38
8-9	5,79
9-10	5,79
10-11	5,79
11-12	5,79
12-13	5,79
13-14	5,79
14-15	5,79
15-16	5,79
16-17	5,79
17-18	4,82
18-19	4,82
19-20	4,82
20-21	4,82
21-22	4,82
22-23	4,82
23-00	4,82
TOTAL (m3/día)	114,33

Especificaciones técnicas:

- Estación de bombeo construida en PRPV, de gran resistencia mecánica.
- Provistas de cáncamos para el izaje y manipuleo seguro de las mismas.
- Tapa de ingreso amplia y rebatible.
- Tubería de polietileno de alta densidad, acero inoxidable o hierro galvanizado, según requerimientos del cliente.
- Sistema de canasto-reja en acero inoxidable, con guía para su izado, para retención de sólidos o elementos indeseados que puedan afectar la vida útil de las bombas.
- Provistas de bombas, válvula de retención, válvula de cierre, cañerías, unidad de control, tubería de ventilación, sonda de nivel, cadenas o cable y ménsula para el izado.
- Aptas para utilizarse en sistemas de bombeo de líquidos cloacales, pluviales, industriales, etc.



Diseños generales de Estaciones de Bombero Prefabricadas MAYPER

- Estación de bombeo de pozo húmedo simple con o sin caja de válvula superficial.
- Estación de bombeo de pozo húmedo con piso técnico con salida superficial o profunda.
- Estación de bombeo de pozo húmedo con caseta superficial para estaciones de grandes dimensiones.
- Con salida superficial o profunda.

Figura 57: Estación de bombeo prefabricada marca Mayper. Fuente:
<https://www.mayper.com.ar/infraestructura/estaciones-de-bombeo/estaci%C3%B3n-de-bombeo>

AERADORES DE CHORRO SUMERGIBLES (TIPO JA)

Serie JA sumergible

aireador de chorro sumergible, Aireador de chorro sumergible, aireador sumergible,

CARACTERÍSTICAS

- Alta tasa de transferencia de oxígeno, fácil eliminación de DBO en el tratamiento de aguas residuales.
- Aplicaciones de mezcla y agitación para MLSS uniforme debido a la convención de burbujas finas.
- Bajo nivel de ruido y bajo costo de construcción y mantenimiento.

APPLICATIONS

APLICACIONES

- El tratamiento de agitación y aireación de aguas residuales para cualquier tipo de fábricas.

SPECIFICATION

Artículos		(T)JA	(T)KJA
Fluido de trabajo	Tipo	Aguas residuales	
	Temperatura	0-40°C	
	Valor de pH	6 – 8	3 – 11
Bombas	Impulsor	FC 200	SCB16A
	Carcasa	FC 200	SCB16A
	Sello mecánico	CA / CE	8c / 8c
Motores	Aislamiento	Clase	
	Protector	sobrecalentamiento y sobrecorriente	
	Carcasa	SUS 304	SUS 316
	Eje	SUS 316	SUS 316 L2
	Cable	H – 07 (VDE)	H – 07 (VDE)

Construcciones - Calidad Probada

MOTOR

- Protegido según los estándares IP68 y aislamiento de clase F.
- Alta eficiencia y baja elevación de temperatura.

SELLOS DE EJE

- Doble sello mecánico en una cámara de aceite separada.
- Un sello de aceite en el lado de presión para reducir la presión.

IMPELER

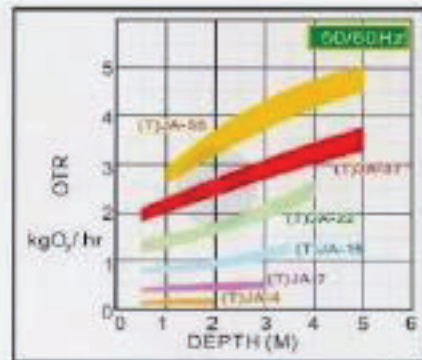
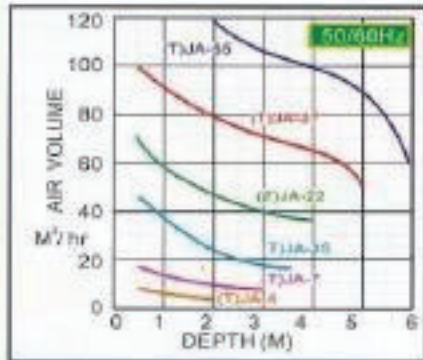
- Impulsor tipo vórtice, equilibrado dinámicamente.

- Espacio esférico de 35 mm hasta 55 mm.

TUBO DE VENTURI

- El mejorador de mezcla ayuda a una mezcla efectiva de aire y agua.
- Burbujas pequeñas para un rendimiento óptimo de limpieza.

CURVAS DE RENDIMIENTO



DIMENSION

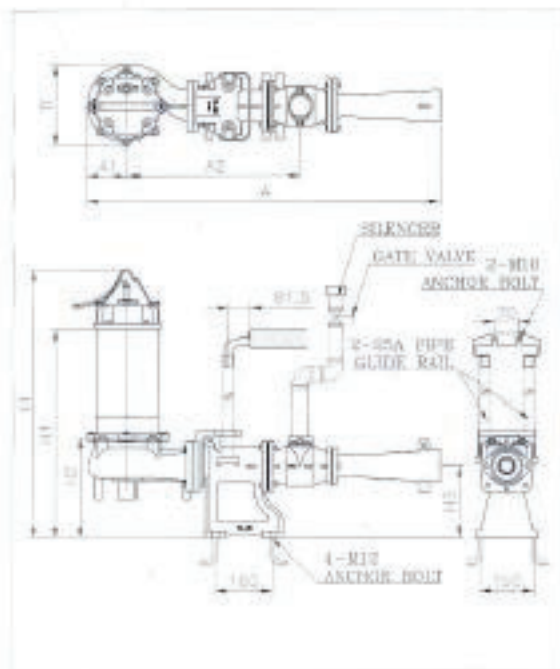


Figura 58: Aireador de chorro sumergible marca blowtac. Fuente:
https://www.blowtac.com.tw/es/product/Submersible_Jet-Aerator-JA.html

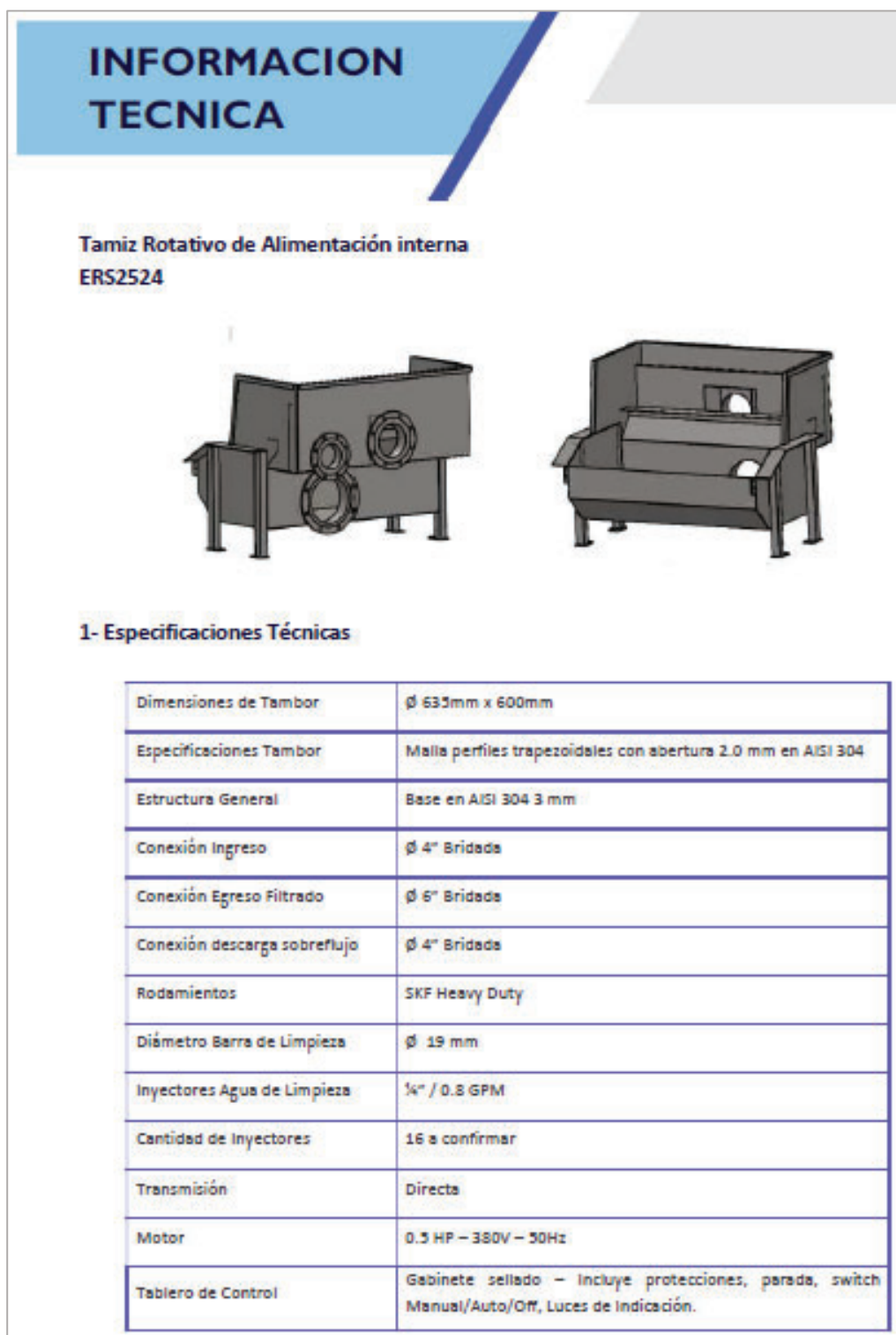


Figura 59: Tamiz rotativo marca Shueiz.

Fuente: <http://www.shueiz.com/detalle.php?a=tamiz-rotativo&t=3&d=4>

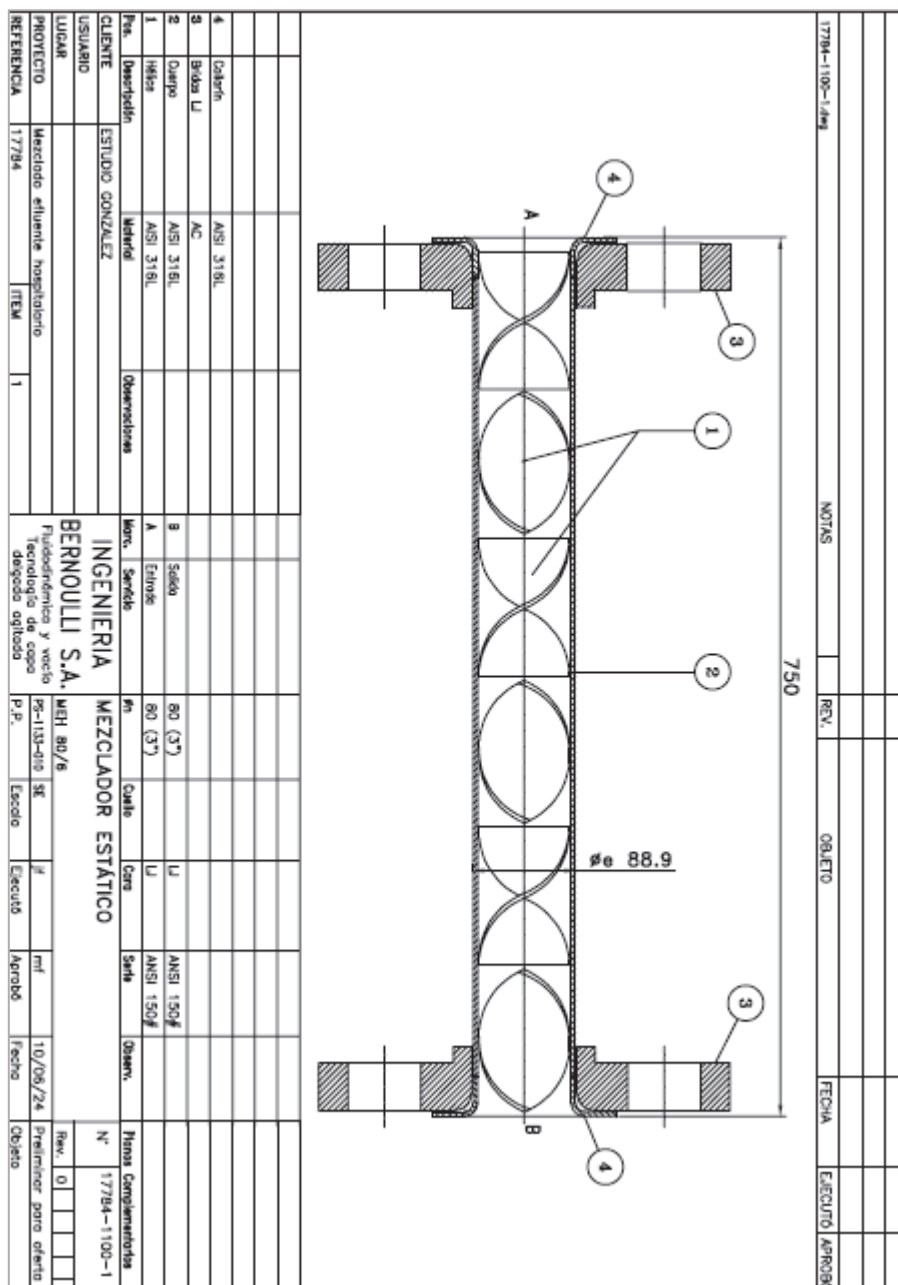


Figura 60: Mezclador estático de la marca Ing. Bernoulli. Fuente:
<https://ibernoulli.wixsite.com/ibernoulli/mezcladores-estticos>

VERDERFLEX®

VERDERFLEX

Ds500

Description
 The Verderflex Ds500 is an industrial peristaltic pump designed for metering, dosing and transfer (fluid/chemical) with a focus on accuracy and minimum downtime, at pressures of up to 7 bar(g).

Your benefits

- Accurate flow performance from 0.1 to 500 ml/min. and pressures of up to 7 bar(g).
- Space saving footprint with secure mounting for easy integration into pump systems.
- Maximum working time/minimum downtime with tool free cartridge changes in situ.
- Minimal fluid 'live' containment ensures user safety and reduced clean up requirement.
- Repeatability of up to ±1% accuracy with reduced pulsation flow.
- No valves - non clogging, no degassing required, abrasion resistant.
- Full colour 4.3" TFT touchscreen.

Technical data

Supply voltage	100-240V 50/60Hz AC	Ambient operating temperature	4 - 45°C
Flow range	0.1 - 500 ml/min	Max. temperature of pumped medium	70°C
Speed range	0.01 - 65 RPM	Noise level	< 70dB(A) @1m
Max. discharge pressure	7 bar(g)	IP rating	IP66, NEMA Type 4X
Max. discharge speed adjustment range	5000:1	Humidity	5-95% RH (non-condensing)
Weight (inc. pump head)	8.25kg	4-20mA resolution	1600:1

Materials

Description	Materials
Pump housing	20% GF PPE/PS (Polyphenyl Ether + Polystyrene), Stanyl®
Drive shaft	PA6 (nylon)
Pump head	20% GF PPE/PS + PA6 + Polypropylene
Screen guard	Polycarbonate
Screen enclosure	20% GF PPE/PS



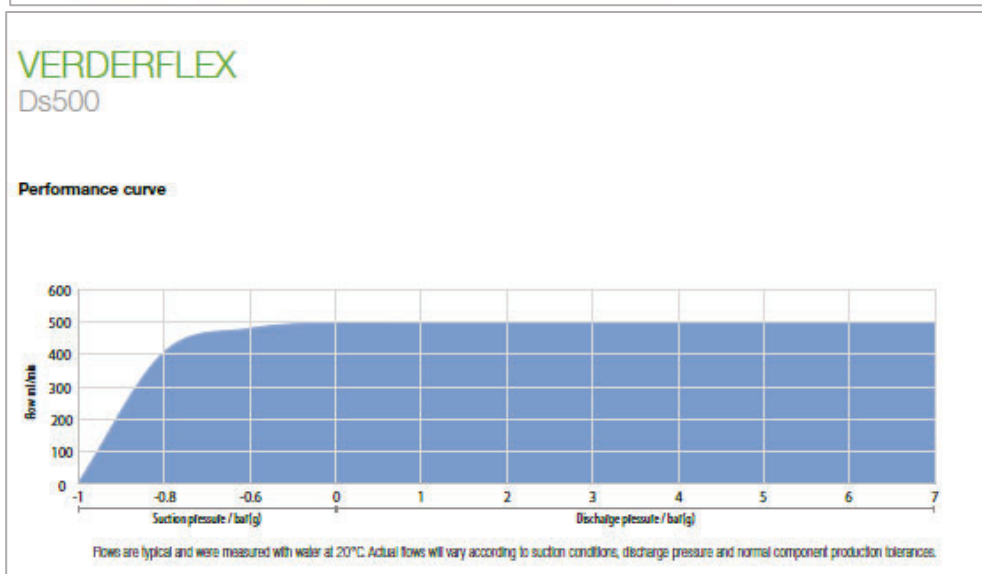


Figura 61: Bomba dosificadora para coagulante marca Verderflex. Fuente: <https://allpumps.com.ar/bombas/verderflex-ds500/>

DAF Recycle Systems

Recycle Saturation Systems

The DAF systems are offered with two types of recycle saturation systems.

1. RSP recycle DAF pump style, no saturation vessel is required.
2. RSS uses a saturation vessel with recycle pump to super saturate the recycle flow.

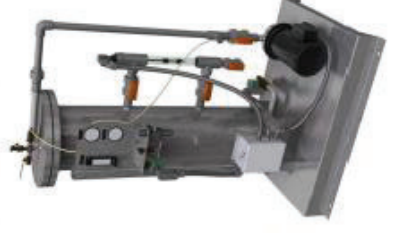
The RSS recycle system can be used for all flow rates from 3 GPM to 2000 GPM or as large a system as is needed. Multiple systems can be provided where required. The RSS systems are ideally suited to new concrete DAFs or retrofitting existing DAFs and API separators.

The RSS System Features:

- Recycle Pump: High head cast iron or stainless steel centrifugal 100 psi pump mounted to the DAF or saturation vessel skid to provide air saturated water under pressure to the recycle system. Motor: TEFC
- Saturation vessel: PVC, coated steel or stainless steel construction.
- Air preparation and control assembly consisting of: check valve, solenoid valve, air flow meter with needle valve, bypass valve, regulator/filter, pressure relief valve and vent valve.
- Auto-Q™ automatic equalization control assembly with switch sign glass, pressure gauge and isolation valves.
- Auto-Q™ automatic EQ electrical control logic.
- Inlet mixing chamber.
- Valving: suction isolation, bypass and discharge control.
- Pump discharge pressure gauge.
- Air rotameter with needle valve for fine air control.
- MCP NEMA 4 controls in Master Control Panel provided.
- System requires compressed air.

The RSS can be shut down and turned on without system upset and EQ point loss.



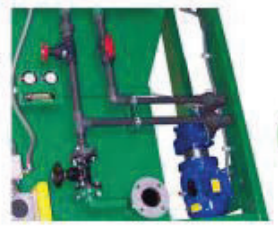


DAF Dissolved Air Flotation Systems

Recycle Systems

The RSP System Features:

- DAF pump: High head, coated cast iron or 316 stainless steel centrifugal, 100 psi recycle pump mounted to the DAF tank to provide super saturated water under pressure to the air/wastewater mixing inlet.
- Motor: Close coupled TEFC.
- Inlet mixing chamber.
- Valving: suction control, discharge control & air flow measuring and metering.
- Pressure gauge.
- Vacuum gauge.
- Air rotameter with needle valve for fine air control.
- MCP NEMA 4 controls in Master Control Panel provided.
- No saturation vessel is required.
- No air compressor is required.

2309 N. Ringwood Rd., Ste G, Mchenry, IL 60050 USA 815.344.2960 fax: 847-487-9216 www.panamenv.com panam@panamenv.com

©1991-2019 Pan America Environmental, Inc.

DAF Brochure 4

PAN AMERICA ENVIRONMENTAL, INC.

Figura 63: Sistema de reciclado de la unidad DAF marca PAE. Fuente: https://www.panamenv.com/products-3_trashed/da/

32 MAT-KULING AS			
CORONA DISCHARGE OZONE GENERATOR & OPTIONAL FEATURES	OZO-250	OZO-500	OZO-1000
	Corona Discharge		
Ozone Production Method			
Footprint Width [mm]	2060	2060	2200
Footprint Depth [mm]	700	780	1100
Max Height [mm]	2000	2200	2100
Device Weight [kg]	370	450	630
Supply Voltage 50/60 Hz [V]	3~400	3~400	3~400
Electrical Connection	3Phase + Neutral + PE	3Phase + Neutral + PE	3Phase + Neutral + PE
Nominal Energy Consumption[kWh]	2.23	4.5	8.9
Installed Power[kW]	2.5	5	10
Nominal Current[A]	6	11	22
Total Heat Loadkcal/h	2500	5000	10000
Min-Max Ozone Variable Ozone Production Range[g/h]	10.0-250.0	10.0-500.0	10.0-1000.0
Feeding Type	Oxygen	Oxygen	Oxygen
Feeding Oxygen Flow Rate[L/min]	35	70	130
Oxygen Concentration%	>90	>90	>90
Feeding Oxygen pressure (nominal) bar	1	1	1
Min-Max Feeding Oxygen Pressure Rangebar	0.5-3	0.5-3	0.5-3
Feeding Oxygen Dew PointC	< -70	< -70	< -70
Feeding Gas Minimum Nitrogen%	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Ozone Output[g/h]	250	500	1000
Ozone Flow Rate[L/min]	35	70	130
Ozone Concentration (nominal)% wt	9	9	9
Min-Max Ozone Concentration Working Range%wt	6.0 - 15.0	6.0 - 15.0	6.0 - 15.0
Cooling Type	Water Cooled	Water Cooled	Water Cooled
Cooling Water Flow[m3/h]	1	1	3
Cooling Water max pressure[bar]	6	6	6
Cooling Water ParameterIn/Out C	20--22	20--22	20--22
Ozone Generator PLC Controller	Standard	Standard	Standard
Ozone Outlet Size [mm] // inc	1/4"	1/4"	1/2"
Control Panel Type / Comunication	PLC/HMI/TCP IP	PLC/HMI/TCP IP	PLC/HMI/TCP IP

Figura 64: Especificaciones técnicas del generador de ozono de la marca MAT-KULING. Fuente: <https://matkuling.com/equipment/ozone-contact-chambers-aquaculture/>

38		MAT-KULING AS				
OXYGEN CONCENTRATOR UNITS 6-2500 LPM	OX-12	OX-20	OX-40	OX-80	OX-160	
Footprint Width [mm]	400	460	450	650	850	
Footprint Depth [mm]	185	190	400	450	550	
Max Height [mm]	650	650	1250	1900	2000	
Supply Voltage 50/60 Hz [V]	24	24	1~230	1~230	1~230	
Installed Power (W)	300	300	500	500	500	
Oxygen Flowrate @1 bar ([L/min])	12	20	40	80	160	
Optional Features Touch Screen Control Board	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	
Optional Features Oxygen Purity Sensor Range	%0-99	%0-99	%0-99	%0-99	%0-99	
Optional Features Dew Point Sensor Range	-50 ... +20 °C TD	-50 ... +20 °C TD	-50 ... +20 °C TD	-50 ... +20 °C TD	-50 ... +20 °C TD	

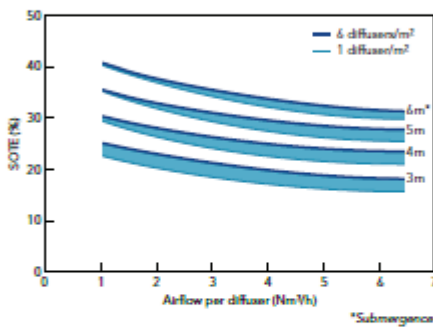
Figura 65: Concentrador de oxígeno OX-160 de la marca MAT-KULING. Fuente: <https://matkuling.com/equipment/ozone-contact-chambers-aquaculture/>

Sanitaire® Ceramic Disc Diffusers

Experience you can trust.

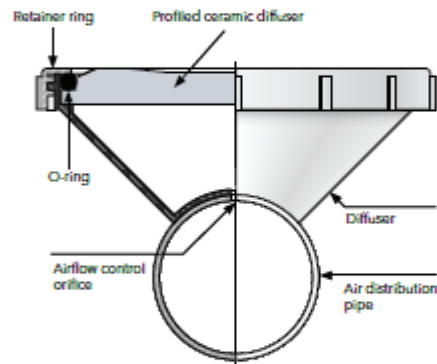
With our unique expertise in biological treatment processes and equipment, Xylem can design state-of-the-art aeration systems that provide energy efficiency and process stability. From developing aeration and mixing specifications to defining a control strategy, we can assist you every step of the way.

Performance curves



Diffuser holder

The easy-to-install Sanitaire 2300 diffuser holder provides superior mechanical strength to support Sanitaire ceramic discs.



Technical data

Disc material	Proprietary compression-molded ceramic
Diffuser holder material	uPVC or cPVC
Disc diameter	178 or 229 mm (7 or 9 in.)
Mounting options	Saddle or screw-on
Effective surface area	
178 mm (7 in.)	0.024 m² (0.26 ft²)
229 mm (9 in.)	0.038 m² (0.41 ft²)
Orifice size	5 mm (13/64 in.)
Airflow range per disc	0.8-7 Nm³/h (0.5-4.5 scfm)**
Standard oxygen transfer efficiency (SOTE)	6-7% per m submergence (2-2.5% per ft)**
Standard aeration efficiency (SAE)	2.5-6 kg O₂ / kWh (4-10 lb O₂ / hph)
Operating mode	Continuous

** For 229 mm (9 in.) diameter

Figura 66: Difusores de cerámica marca Xylem. Fuente: <https://www.xylem.com/siteassets/brand/sanitaire/resources/brochure/sanitaire-ceramic-disc-diffusers-datasheet-us.pdf>

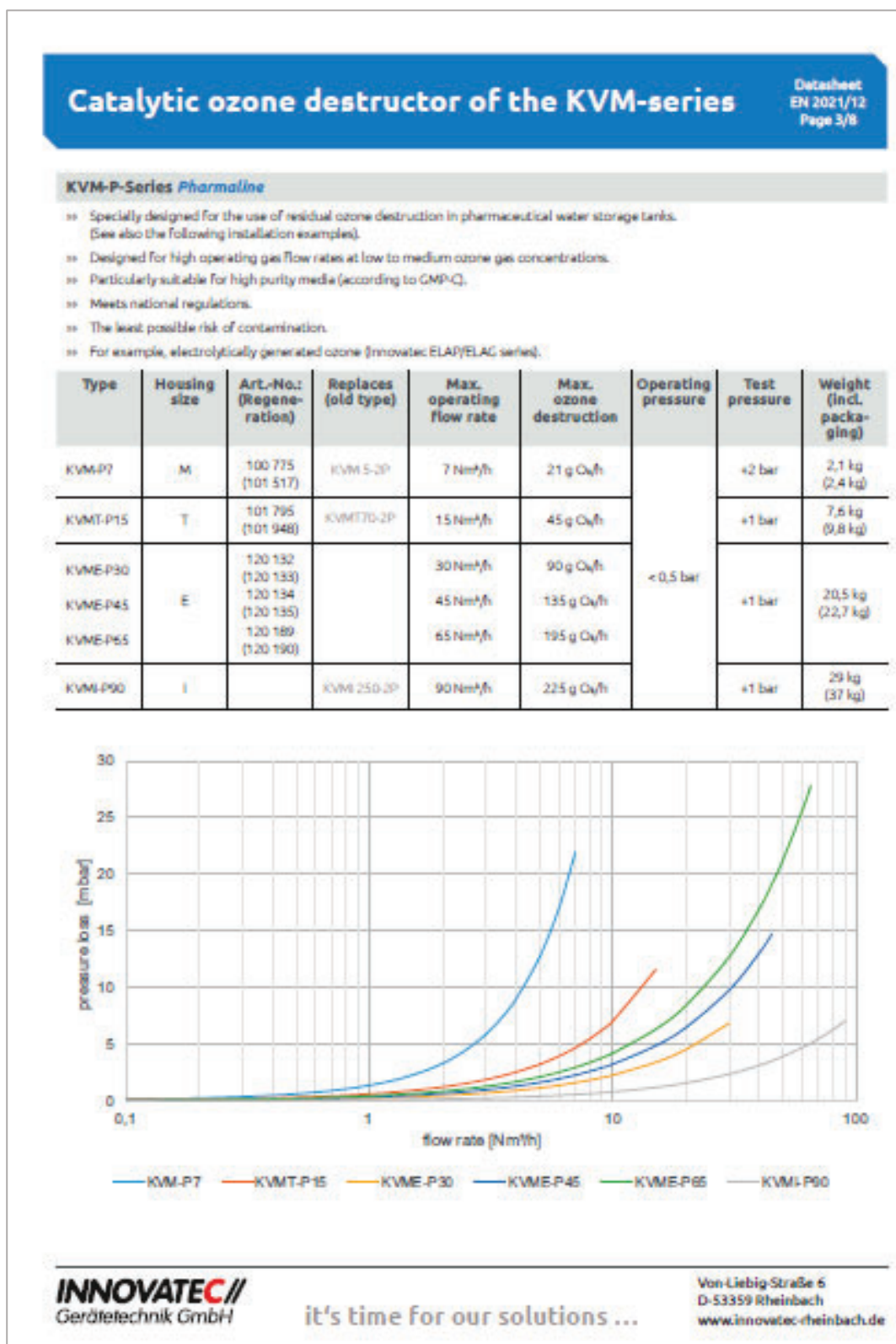


Figura 67: Destructor de ozono marca Innovatec. Fuente: <https://innovatec-rheinbach.de/en/portfolio/kvm/>

Parámetros del producto	
Datos técnicos del catalizador de Destructor del ozono	
Tipo	Gránulo de la partícula, pelotilla columnar, polvo, panal y tipo de la bola de Spherality
Constituyente activo eficaz	85% min
Fuerza	60 N/cm min
Área de superficie específica	≥ 240 m ² /G
Densidad	0,75 (± 0,05) g/ml
Temperatura	0-500 °C
Velocidad espacial	3000-80000 /h
Capacidad/hora de la descomposición del ozono	≥ 800,0 mg/g
Eficiencia de descomposición del ozono	> 99%
Nota: Los parámetros de la especificación del catalizador se pueden modificar para requisitos particulares según requisitos.	
Embalaje y entrega del catalizador de la destrucción del ozono	
Embalaje general: 25 KG/30 KG/35 KG en barril del hierro con la bolsa de plástico a prueba de humedad dentro, embalando basado en las necesidades del usuario.	
Para una cantidad inferior a 2 toneladas, Minstrong puede entregar el catalizador de destrucción de ozono en 7 días.	
Puerto de envío: Shanghai/otro puerto como petición	
Fedex, el transporte aéreo, el transporte del océano, el transporte ferroviario y el transporte del camión están disponibles.	

Figura 68: Catalizador para el destructor de ozono marca Minstrong. Fuente: <https://www.minstrong.com/es/product/ozone-destructor-catalyst.html>

Technical data

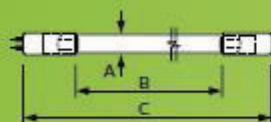
Type	Cap-Base	Dim. no.	Technical Lamp Wattage (W)	Lamp Voltage (V)	Lamp Current (A)	UV-C at 100h (W)	Useful life (h)	Depreciation at useful lifetime (%)	Irradiance at 1m (μW/cm²)*	Packaging type	Packaging configuration	Ordering number 12NC
230W WE XPT SE	G5.4X17Q	230	88	3,06	78	16000	10	610	UNP	32	928104005112	
260W XPT DIM	G5.4X17Q	260	76	3,06	80	16000	10	626	UNP	32	928102805112	
260W XPT HO	G5.4X17Q	260	89	2,7	98	16000	10	200	UNP	32	928104405112	
335W XPT SE	G5.4X17Q	335	77	3,06	93	16000	10	727	UNP	32	928103105112	
335W WP XPT SE	G17X10	335	77	3,06	93	16000	10	727	UNP	32	928105705112	
335W XPT HO SE	G5.4X17Q	335	94	3,34	123	16000	10	1085	UNP	32	928103505112	

1 Nominal UVC output (fixed current) under laboratory conditions

2 Expected useful lifetime is 16000 h with an intensity decrease of 10% at 254 nm, based on the 100 h UVC value

Lifetime and depreciation strongly depends on operation conditions

* Calculated with Keltz formula



4 Pins Single Ended

Dimensions	A	B	C
TUV 230W WE XPT SE	25	1400	1514
TUV 260W XPT DIM	32	1400	1514
TUV 260W XPT HO	32	1400	1514
TUV 335W XPT SE	32	1400	1514
TUV 335W WP XPT SE	32	1400	1514
TUV 335W XPT HO	32	1400	1514

Figura 69: Especificaciones técnicas de lámparas UV DynaPower System marca Philips. Fuente: <https://www.lighting.philips.com.ar/areas-aplicacion/specialist-applications/uv-disinfection/uv-c-lamps>

FILTRO PRENSA DE VIGA LATERAL KE



Diseño

KE es un filtro prensa de viga lateral de dimensiones pequeñas que puede ser instalado también en espacios reducidos. Su sólida estructura y diseño simple, hacen de este filtro un equipo de gran funcionalidad.

Performance

Al igual que los filtros prensa de gran capacidad producidos por Diemme® Filtration, el modelo KE ha sido diseñado para funcionar a elevadas presiones de alimentación: 12,15 y 30 bar.

Modelo	Presión de trabajo (bar)		N. de placas instaladas		Volumen de torta		Superficie filtrante (m ²)		Longitud (mm)		Peso en vacío (Kg)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
500	12	30	15	60	60	250	6	22	1560	3770	850	1422
630	12	30	32	84	200	540	18	46	3800	6200	1500	2200
800	12	30	28	75	460	882	28	71	4515	6965	2890	4140

Figura 70: Filtro prensa marca Diemme. Fuente: <https://www.diemmefiltration.com/es/filtros-prensa/>

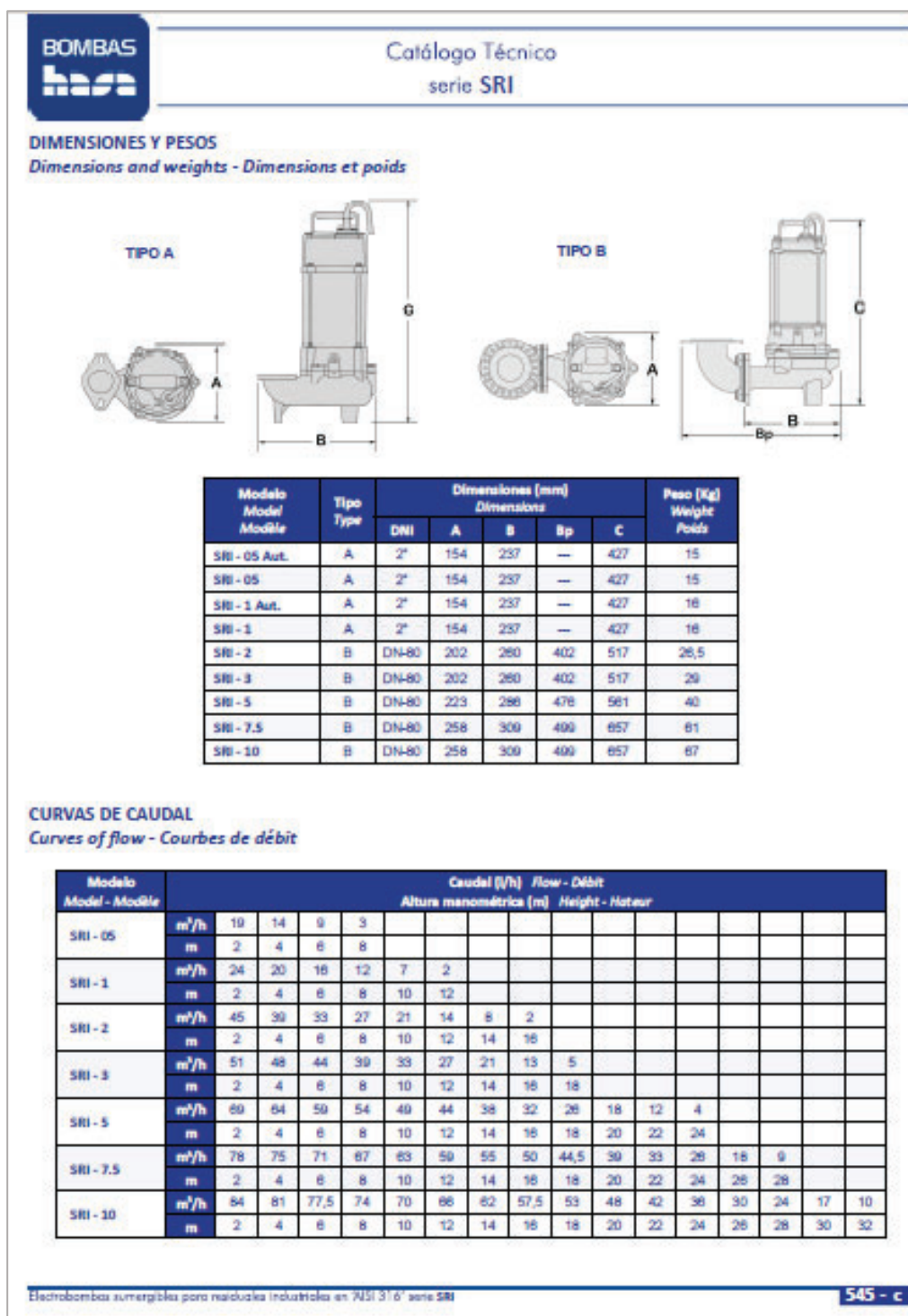


Figura 71: Bombas Hasa. Fuente: <https://www.bombashasa.com/es/productos/sri/electrobombas-sumergibles-para-aguas-residuales/>

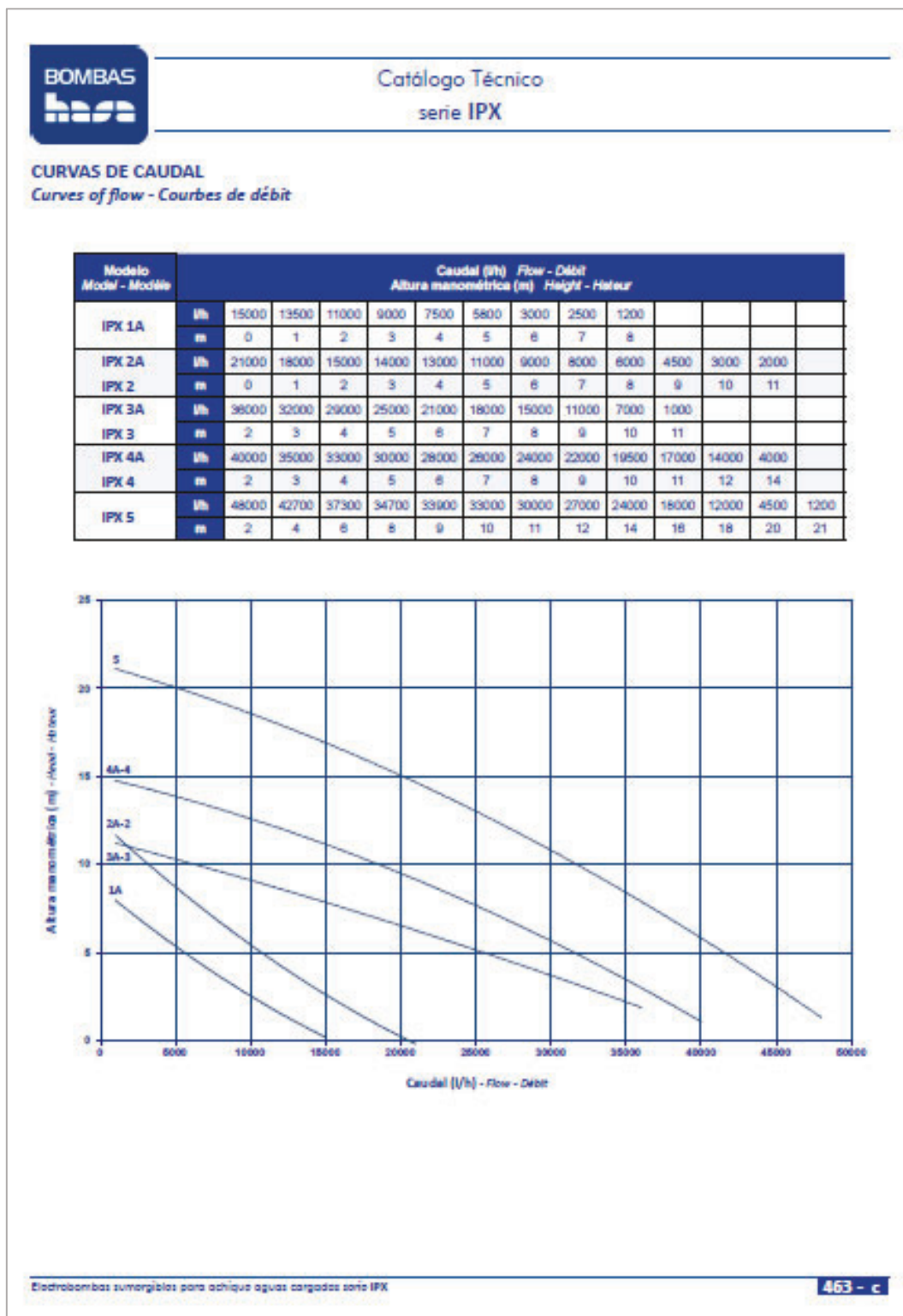


Figura 72: Bomba Hasa para lodos. Fuente:
<https://www.bombahasa.com/es/productos/ipx/electrobombas-sumergibles-para-achique-aguas-cargadas/>

Anexo Capítulo IX

Línea de Base Ambiental

Tabla LXIX: Estadísticas climatológicas para las estaciones EZEIZA AERO y LA PLATA AERO. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

		Estadísticas Climatológicas Normales - período 1991-2020											
Estación	Valor Medio de	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EZEIZA AERO	Temperatura (°C)	24,1	23	21	17,1	13,6	10,8	9,8	11,8	13,8	16,8	20	22,7
EZEIZA AERO	Temperatura máxima (°C)	30,3	28,8	26,8	22,9	19	15,9	15	17,5	19,3	22,2	25,8	29
EZEIZA AERO	Temperatura mínima (°C)	17,9	17,1	15,4	11,8	8,9	6,1	5,2	6,6	8,3	11,2	13,8	16,2
EZEIZA AERO	Humedad relativa (%)	65,6	70,6	74,2	77,3	79,7	78,5	77,6	73,8	71,7	71,9	67	64,1
EZEIZA AERO	Velocidad del Viento (km/h) (2011-2020)	13,2	12,2	11,2	10,8	10	10,4	11,1	12	13,5	13,4	13,9	12,7
EZEIZA AERO	Nubosidad total (octavos)	3,4	3,4	3,4	3,8	4,3	4,5	4,4	4,2	4,1	4,2	3,7	3,4
EZEIZA AERO	Precipitación (mm)	99,8	108,5	100,1	100,6	70,3	48,4	56,9	59,3	65,4	106,6	99,5	99,5
EZEIZA AERO	Frecuencia de días con Precipitación superior a 1.0 mm	6,6	6,4	6	6,3	4,9	4,5	4,5	4,6	5,5	7,5	6,5	6,2
LA PLATA AERO	Temperatura (°C)	23,1	22,2	20,2	16,4	13	10,1	9,2	11	12,8	15,9	18,8	21,6
LA PLATA AERO	Temperatura máxima (°C)	28,9	27,8	25,8	22,1	18,2	15,1	14,2	16,4	18,1	21	24,4	27,5
LA PLATA AERO	Temperatura mínima (°C)	17,4	16,9	15,2	11,7	8,7	6	5,2	6,3	7,9	10,7	13,4	15,8
LA PLATA AERO	Humedad relativa (%)	72,2	75,7	79,1	82,2	85,1	84,4	83,7	81,4	79	78,6	74,3	70,8
LA PLATA AERO	Velocidad del Viento (km/h) (2011-2020)	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
LA PLATA AERO	Nubosidad total (octavos)	3,2	3,1	3,1	3,5	4	4,1	4,1	3,9	3,8	3,9	3,5	3,2
LA PLATA AERO	Precipitación (mm)	111	112,8	106,5	98,2	78	58,6	78,7	67,5	71,4	101	95,3	93,7
LA PLATA AERO	Frecuencia de días con Precipitación superior a 1.0 mm	7,1	6,3	6,3	6,6	5,2	5,1	5,4	5,2	5,8	7,4	6,8	6,6

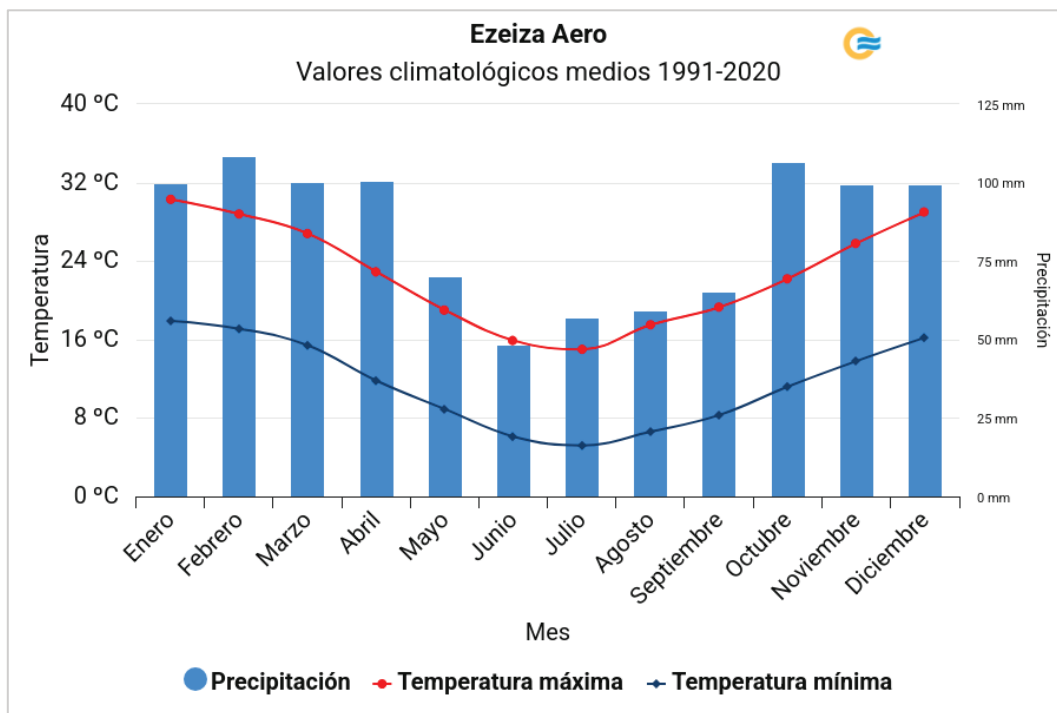


Figura 73: Valores climatológicos medios para la estación EZEIZA AERO. Fuente: SMN.

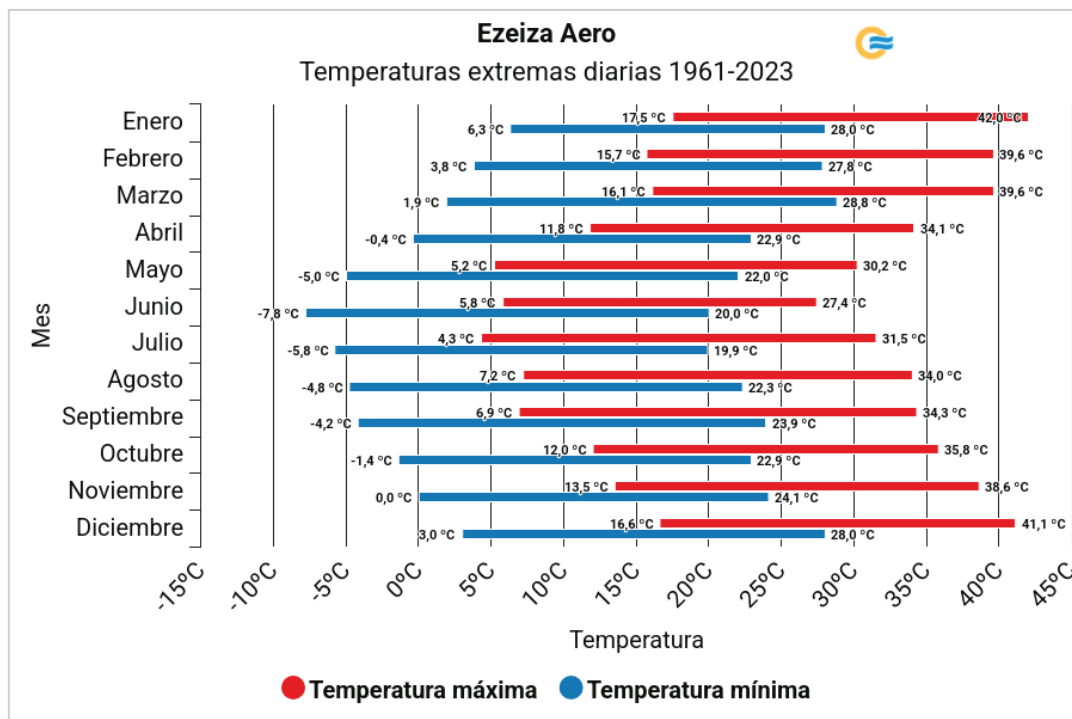


Figura 74: Temperaturas extremas diarias para la estación EZEIZA AERO. Fuente: SMN.

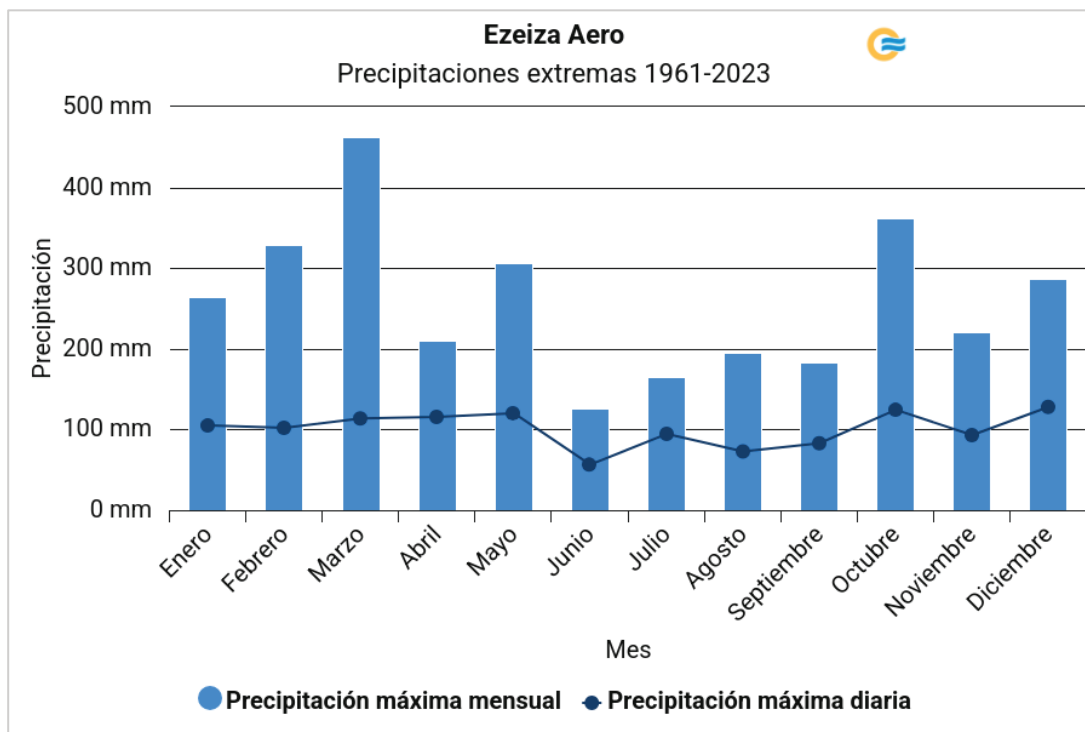


Figura 75: Precipitaciones extremas para la estación EZEIZA AERO. Fuente: SMN.

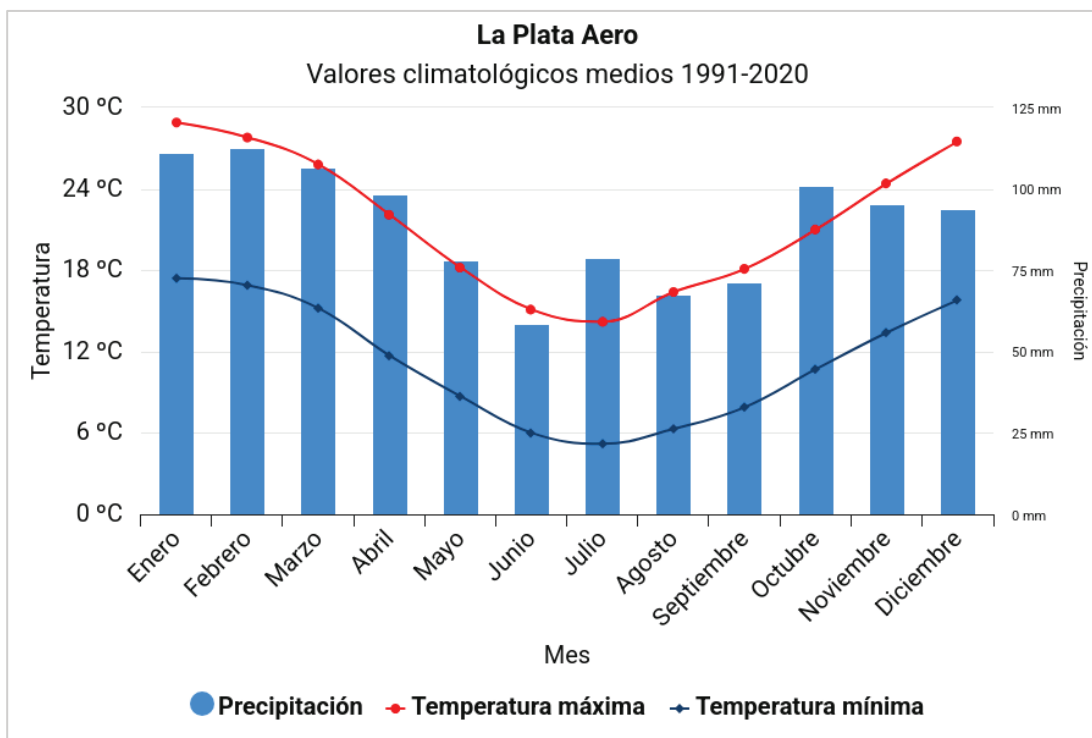


Figura 76: Valores climatológicos medios para la estación LA PLATA AERO. Fuente: SMN.

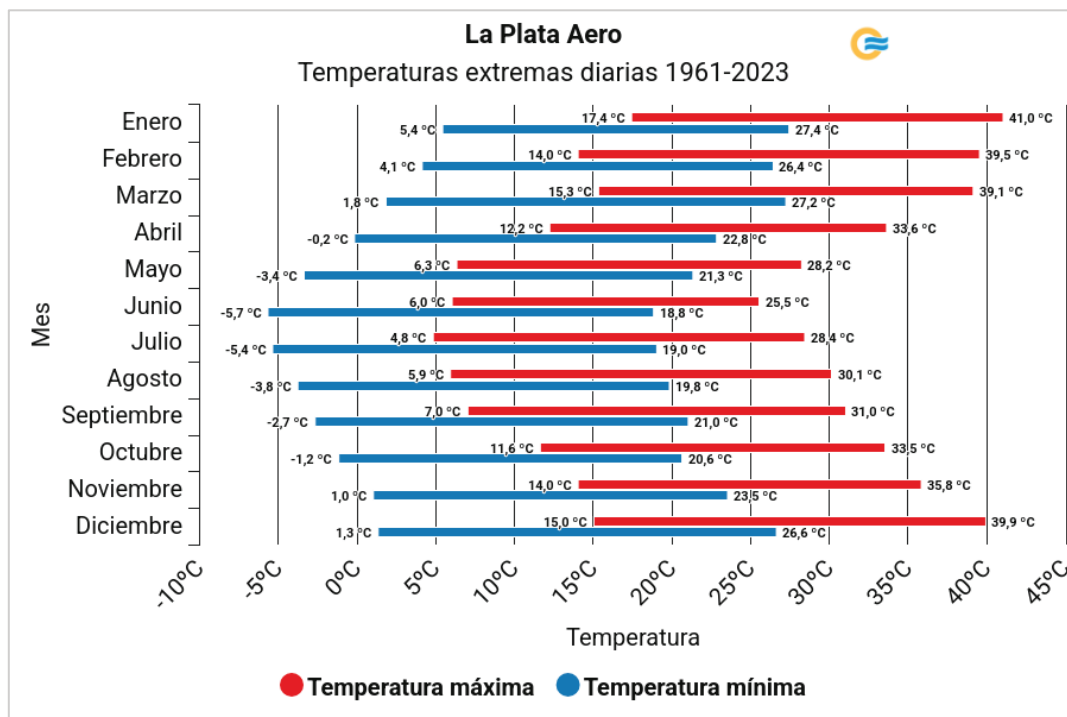


Figura 77: Temperaturas extremas diarias para la estación LA PLATA AERO. Fuente: SMN.

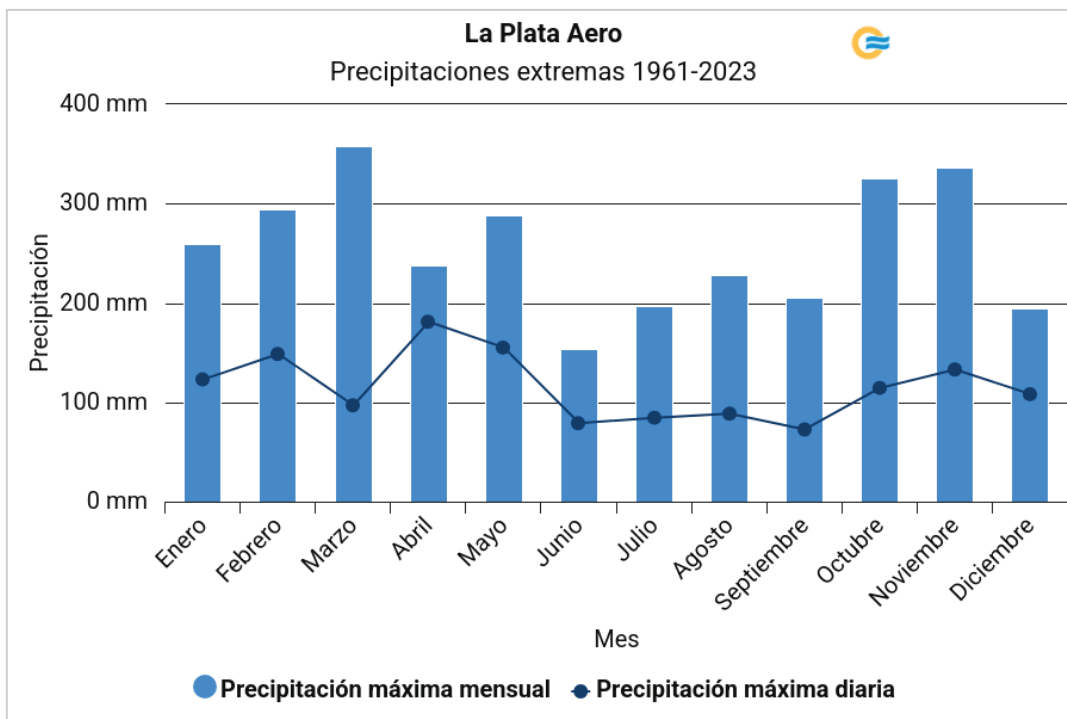
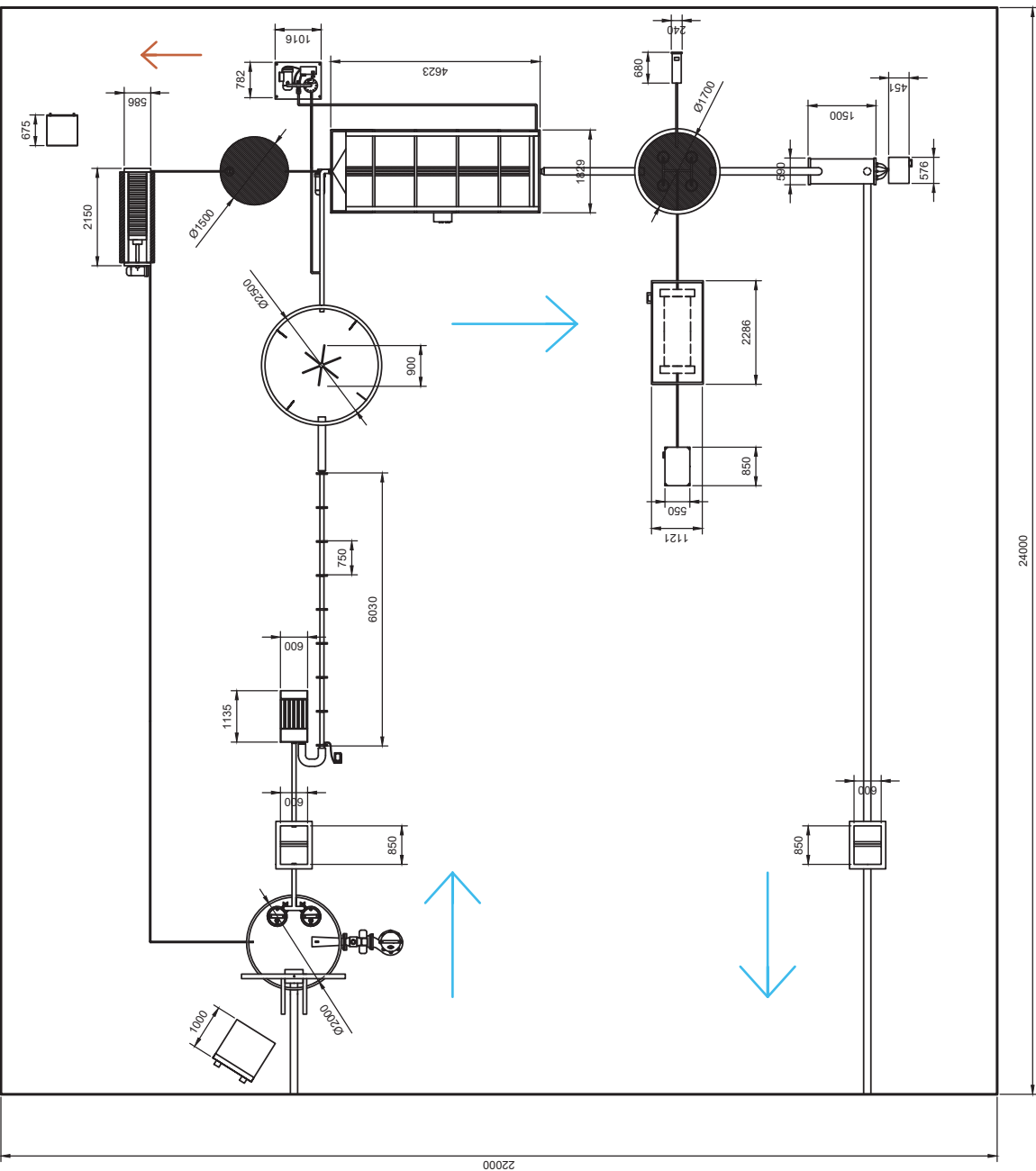


Figura 78: Precipitaciones extremas para la estación LA PLATA AERO. Fuente: SMN.

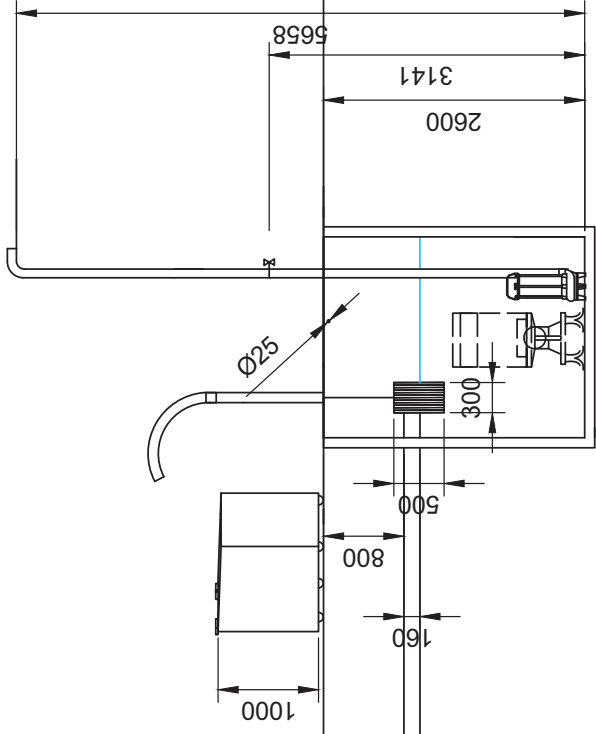
Anexo - Planos del Proyecto



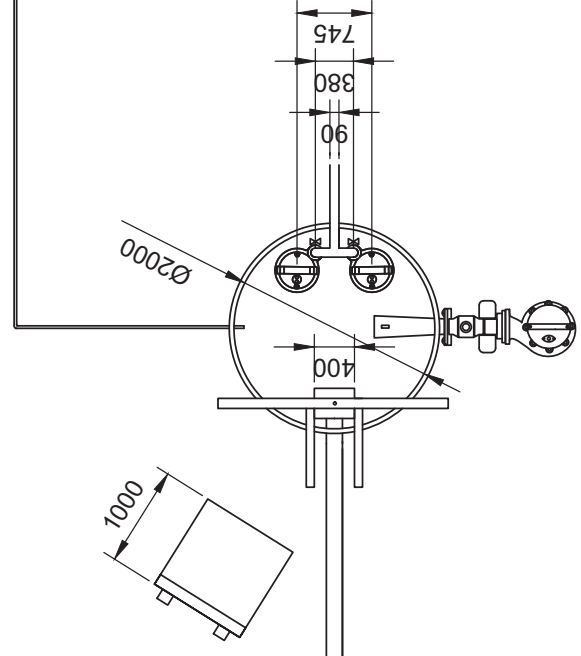
REFERENCIAS

→ Sentido del flujo → Sentido lodos

Dibujó:	Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.	 Escuela de Ingeniería Ambiental FACEN UNSAM
Revisó:				
Aprobó:				
Escala:				
Plano N°:				
1				
Alumna:			Alrobelle Gonzalez Maria Eugenia	
Carrera:			Ingeniería Ambiental	

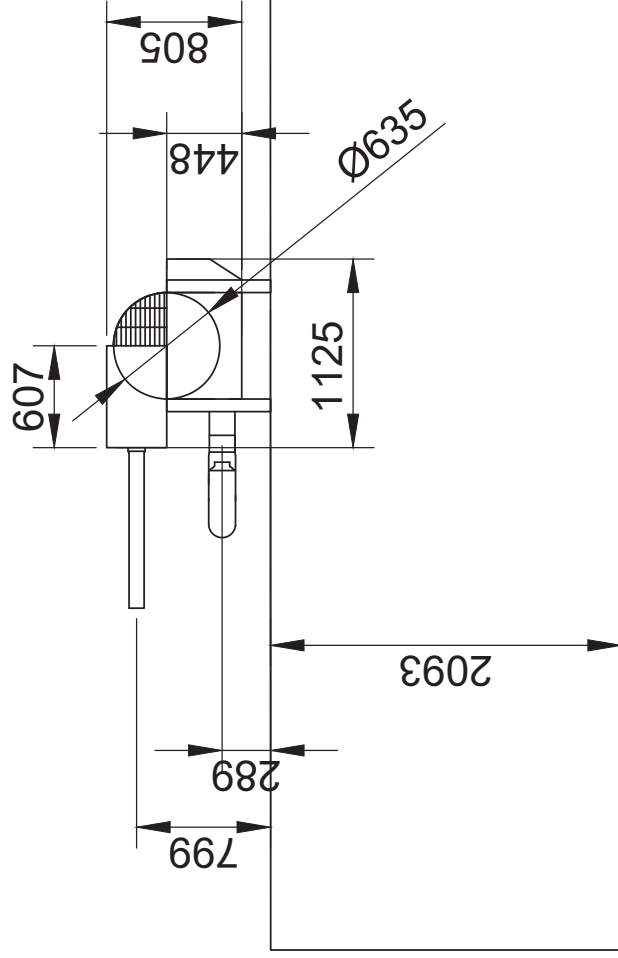


Vista lateral

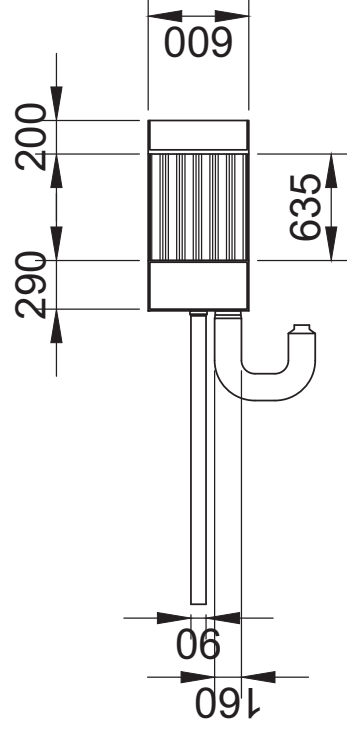


Vista superior

Dibujo:		Fecha		Nombre		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.	 
Revisó:							
Aprobó:							
Escala: 1:50							
Plano N°: 3							
DESBASTE						Aluma: Altobelli Gonzalez Maria Eugenia	
Tanque ecualizador						Carrera: Ingeniería Ambiental	

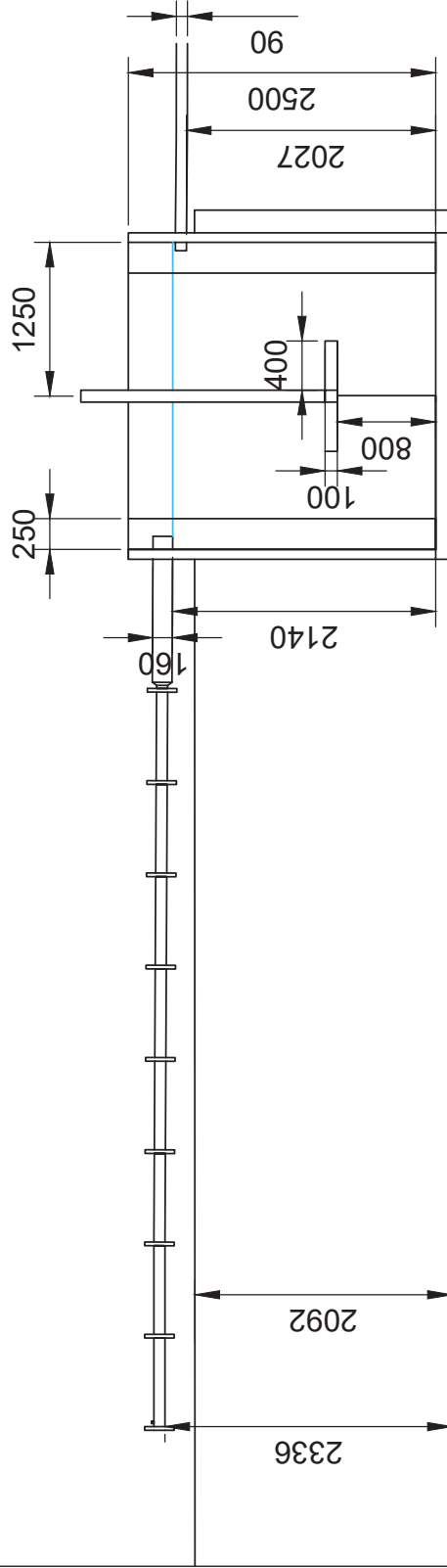


Vista lateral

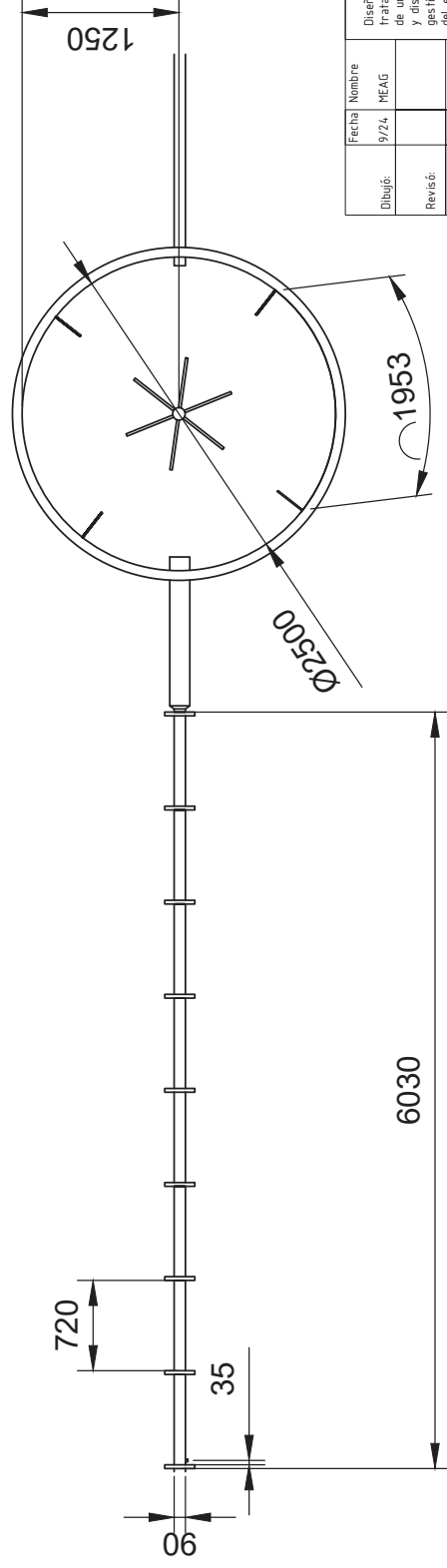


Vista superior

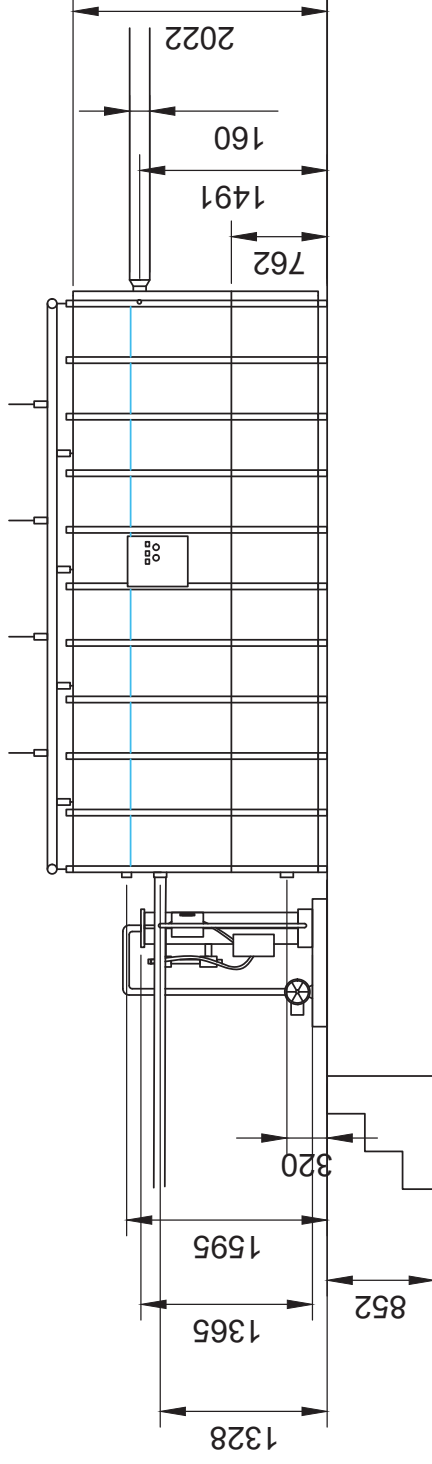
Dibujó:	Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.	Escuela de Ingeniería Ambiental FMS UNSAM
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: 1:30	TRATAMIENTO PRIMARIO			Alumna: Altobelli Gonzalez María Eugenia
Plano N°: 4	Tamiz rotativo			Carrera: Ingeniería Ambiental



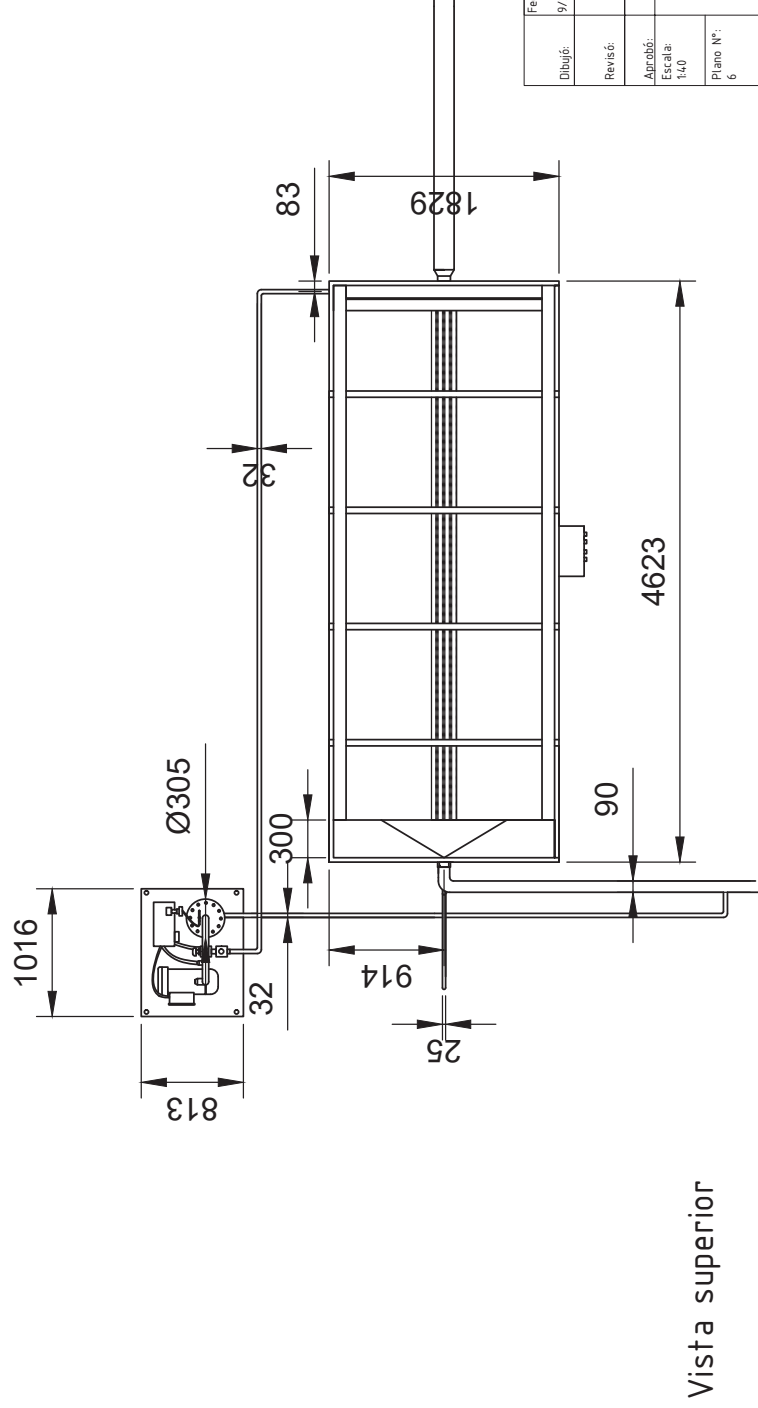
Vista lateral



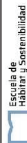
Escuela de Ingeniería Ambiental FMS UNIVIA Universidad Nacional de San Martín	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un hospital Interzonal y del plan de gestión de los residuos del establecimiento.		Aluma: Altobelli Gonzalez Maria Eugenia	
	Fecha	Nombre	TRATAMIENTO PRIMARIO	
	Dibujó:	9/24 MEAG	Escala: 1:40	
	Revisó:		Plano N°: 5	
	Aprobó:		Mezclador estático (Coagulador) Tanque de floculación	

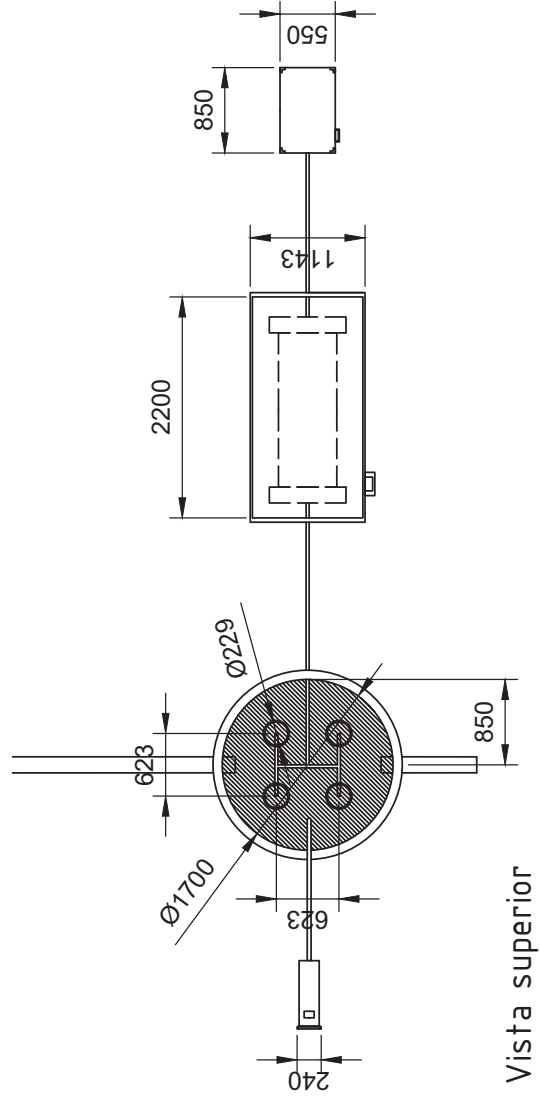


Vista lateral

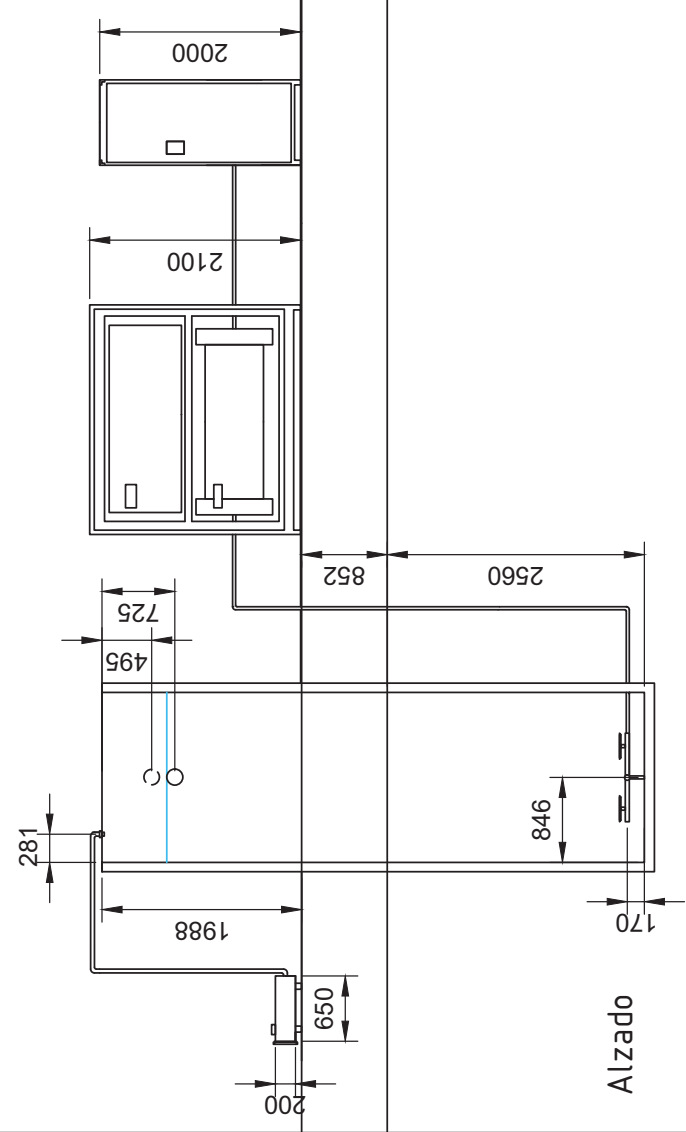


Vista superior

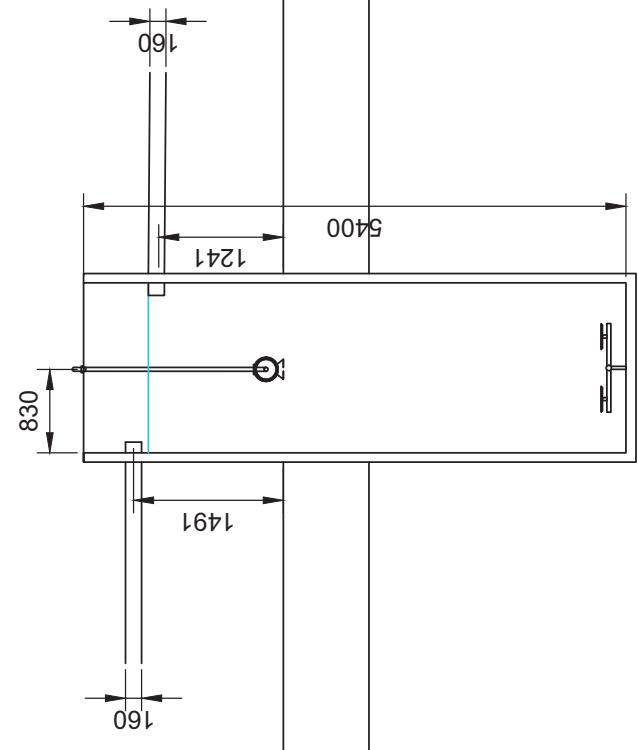
Dibujó:	9/24	Nombre	MEAG	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.		
Revisó:						
Aprobó:		Alumno: Altobelli Gonzalez Maria Eugenia				
Escala:	1:40	Carrera: Ingeniería Ambiental				
Plano N°:	6	TRATAMIENTO PRIMARIO Unidad DAF (Flotación por aire disuuelto) y sistema de recirculación/presurización.				



Vista superior



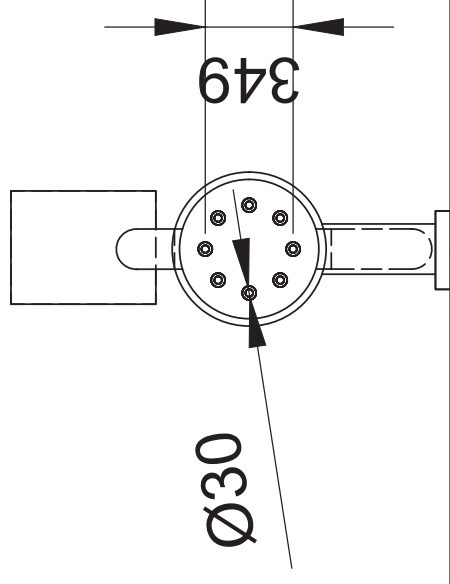
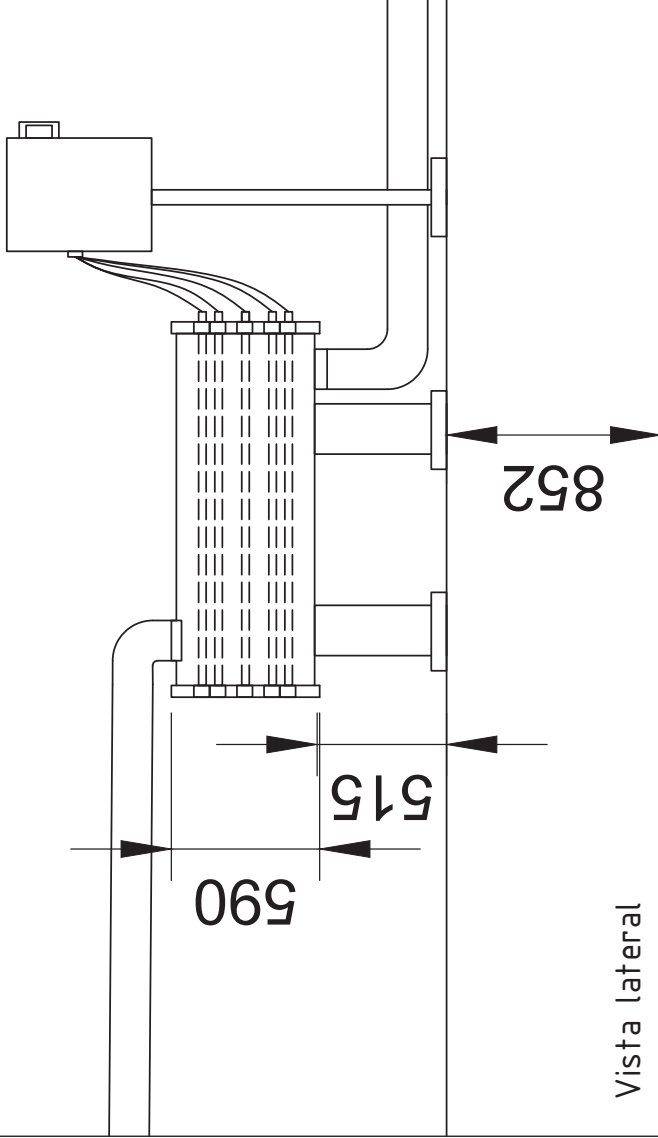
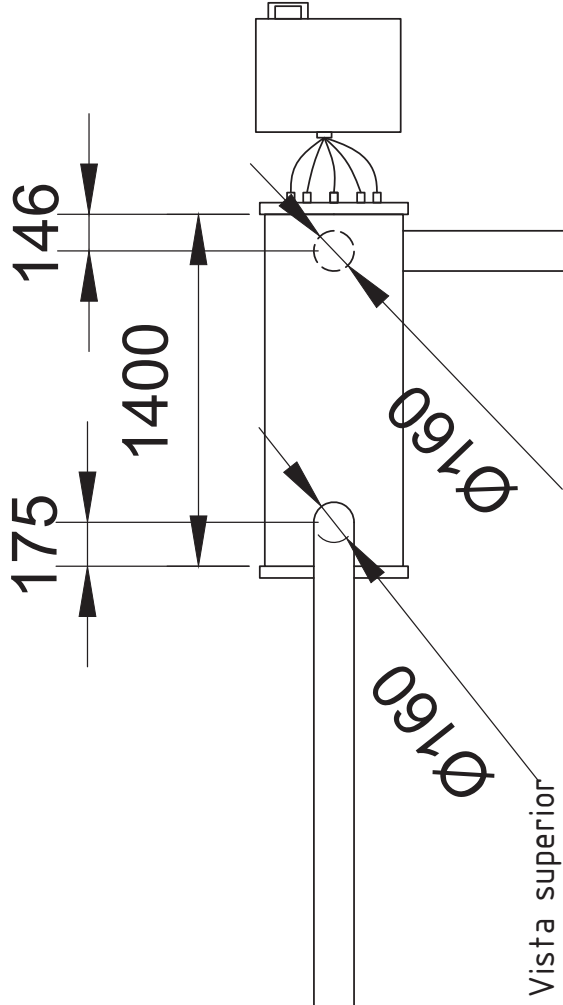
Alzado



Vista lateral
Perfil hidráulico

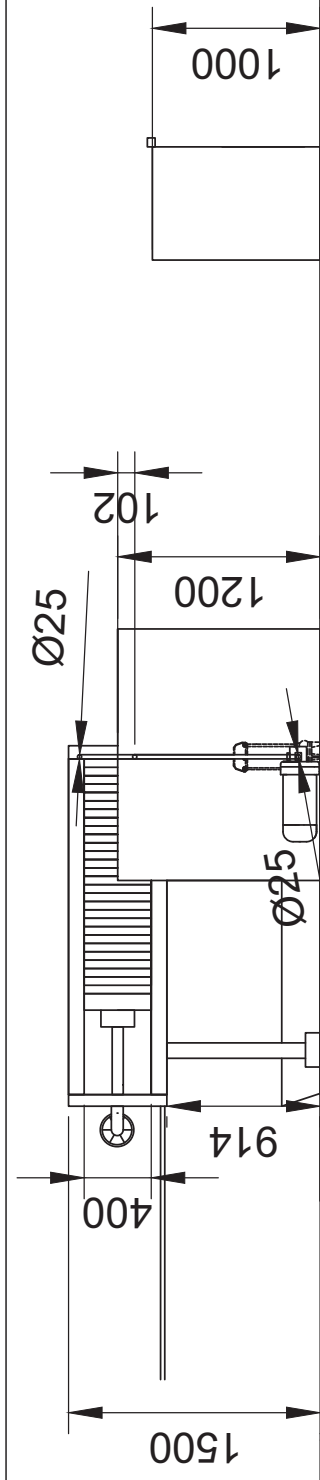
Dibujo: Fecha: Revisó: Aprobó:	9/24 MEAG	Nombre: MEAG	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.	Escala: 1:50	TRATAMIENTO TERCARIO Ozonización: Cámara de contacto con ozono, generador de ozono y concentrador de oxígeno.	Alumno: Altobelli Gonzalez Maria Eugenia Carrera: Ingeniería Ambiental



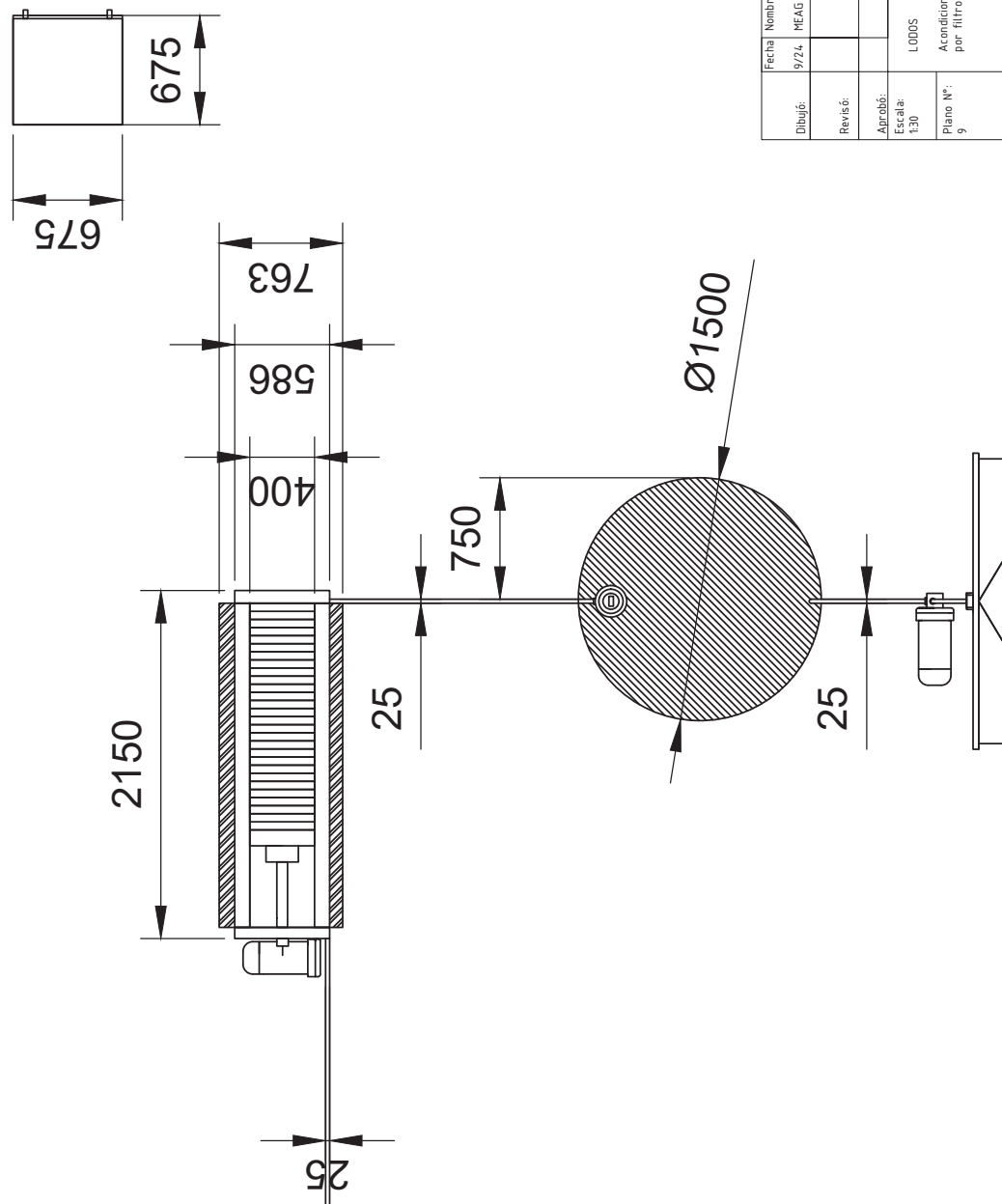


Dibujó:	Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.
Revisó:	9/24	MEAG	
Aprobó:			
Escala: 1:20			
Plano N°: 8	TRATAMIENTO TERCARIO		Aluma:
			Altobelli Gonzalez Maria Eugenia
			Carrera:
			Ingeniería Ambiental





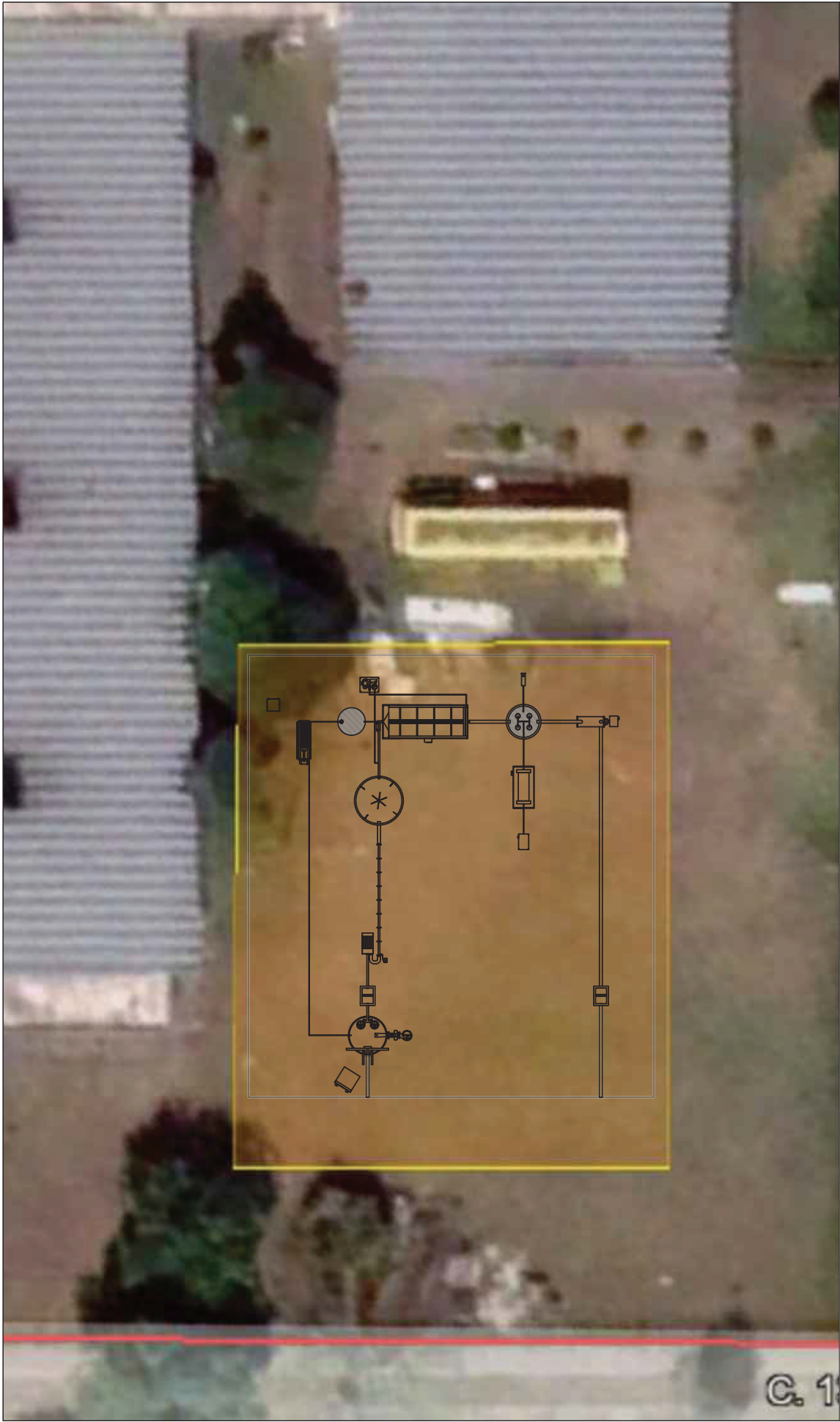
Vista lateral



Vista superior

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.				
Dibujó:	Fecha	Nombre		
Revisó:	9/24	MEAG		
Aprobó:				
Escala:				
1:30			L0005	
Plano N°:			Acondicionamiento y deshidratación por filtro prensa.	
9			Alumna:	Altobelli Gonzalez María Eugenia
			Carrera:	Ingeniería Ambiental





	Fecha			Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un Hospital Interzonal y diseño del plan de gestión de los residuos del establecimiento.	 Escuela de Habitat y Sostenibilidad HINUNSAM
	Dibujó:	9/24	MEAG		
	Revisó:				
	Aprobó:				
	Escala: 1:200	Emplazamiento en el terreno.			
Plano N°: 10				Alumna: Altobelli Gonzalez María Eugenia	Carrera: Ingeniería Ambiental