

**PROVINCIA DE RIO NEGRO**

**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**TRATAMIENTO DE LIQUIDOS RESIDUALES CON ALTO CONTENIDO DE  
DETERGENTES**

**INFORME FINAL**

**OCTUBRE DEL 2005**

**Autor: Licenciado Horacio Fidel Fernández**

## ÍNDICE TEMÁTICO

Resumen Ejecutivo.....	4
I.Estudios preliminares.....	6
I.1.Recopilación de antecedentes.....	6
I.1.1.Algunos conceptos sobre los detergentes.....	6
I.1.1.1.Tipos de surfactantes.....	7
I.1.1.2.Procesos involucrados en la acción detergente.....	9
I.1.2.Detergentes potenciales agentes de contaminación.....	11
I.1.3.Legislación vigente.....	14
I.1.3.1.Legislación Provincial.....	14
I.1.3.1.1.Provincia de Río Negro.....	14
I.1.3.1.2. Capital Federal y Conurbano.....	15
I.1.3.1.3. Provincia Buenos Aires.....	15
I.1.3.2. Ley Nacional.....	16
I.1.3.3. Legislación Estados Unidos.....	16
I.1.3.4. Legislación España.....	17
I.1.4.Tecnologías de tratamiento.....	17
I.1.5.Parámetros fisicoquímicos.....	31
I.1.6.Sustancias detergentes utilizadas.....	34
I.2.Reconocimientos visuales.....	34
I.2.1.Inspección a establecimientos.....	34
I.2.2.Caracterización de efluentes.....	36
I.2.3.Análisis de legislación vigente.....	36
I.2.4.Materias primas empleadas.....	37
I.3.Evaluación, clasificación y procesamiento de datos.....	37
I.4.Informe del estudio preliminar.....	39
II.Diagnóstico de la situación.....	41
III.Investigaciones Básicas.....	43
III.1.Ensayos de precipitación química.....	43
III.1.1.Marco teórico.....	43
III.1.2.Materiales y métodos.....	45
III.1.3.Resultados y conclusiones preliminares.....	47
III.2.Ensayos de filtración.....	51
III.2.1.Marco teórico.....	51

III.2.2.Materiales y métodos.....	53
III.2.3.Resultados y conclusiones preliminares.....	53
III.3.Ensayos de ozonización.....	57
III.3.1.Marco teórico.....	57
III.3.2.Materiales y métodos.....	58
III.3.3.Resultados y conclusiones preliminares.....	59
III.4.Ensayos de descomposición con luz UV .....	61
III.4.1.Marco teórico.....	61
III.4.1.1.Generación y consideraciones de diseño.....	63
III.4.2.Materiales y métodos.....	66
III.4.3.Resultados y conclusiones preliminares.....	66
IV.Planteo y elaboración preliminar de alternativas de tratamiento	
Elección de la alternativa más conveniente desde un enfoque	
técnico, económico y ambiental.....	69
IV.1.Precipitación química.....	70
IV.2.Filtración.....	72
IV.3.Ozonización.....	74
IV.4.Irradiación con luz UV.....	75
IV.5.Selección de alternativas de tratamiento.....	77
IV.6.Conclusiones.....	81
V.Desarrollo a escala prototipo de la alternativa seleccionada.	
Implementación en un establecimiento seleccionado.....	82
V.1.Conclusiones.....	91
VI.Normas operativas básicas.....	96
VI.1.Proceso de lavado de prendas.....	97
VI.2.Operación del sistema de tratamiento.....	98
VI.3.Conclusiones finales.....	102

## RESUMEN EJECUTIVO

El contenido del documento incluye una descripción somera de las principales características de las sustancias evaluadas en el trabajo, los detergentes, con especial énfasis en la composición química de las mismas, sus implicancias ambientales y los mecanismos a través de los cuales ejercen su acción de limpieza. La inclusión de estos aspectos se hizo con el objeto de brindar la mayor información posible a fin de comprender cabalmente los mecanismos de acción de tales sustancias, entendiendo que ello podría permitir un conocimiento suficientemente amplio para abordar la resolución del problema planteado.

Por otra parte se formula una evaluación comparada entre la legislación vigente en el ámbito de aplicación del estudio y las normativas aplicadas en otras jurisdicciones provinciales, nacionales e internacionales. El resultado de este análisis permitirá definir el nivel de exigencia de lo dispuesto en la provincia de Río Negro, en relación con la disposición de vertidos industriales, respecto de lo legislado en el ámbito de la Nación, Capital Federal, provincia de Buenos Aires, España y Estados Unidos.

El informe comprende asimismo, la descripción de un número importante de tecnologías para el tratamiento de efluentes provenientes de lavaderos, empleadas actualmente en otros países. A partir de la evaluación de estas alternativas, se definieron los métodos evaluados en escala laboratorio y prototipo.

En función de datos históricos y recientes, se presenta un diagnóstico sobre la situación en la región referido a las condiciones operativas de los establecimientos evaluados y al nivel de cumplimiento de los vertidos con la normativa en vigencia. La recopilación de la información que conforma la base de datos del diagnóstico, incluye los registros existentes en el Departamento Provincial de Aguas y los recabados mediante inspecciones y muestreos efectuados durante el mes de noviembre del año 2004.

El informe brinda en su desarrollo, los resultados de los numerosos ensayos realizados a nivel laboratorio con el objetivo de reducir el contenido de detergentes, y en menor medida otros contaminantes, en los efluentes generados en establecimientos de lavado de prendas. Asimismo propone la alternativa que considera no solo la eficiencia del método respecto de la remoción de contaminantes, sino también las implicancias asociadas desde el punto de vista de su factibilidad técnica, económica y ambiental.

Las tecnologías de tratamiento estudiadas en escala laboratorio, fueron las siguientes:

- Precipitación con sales inorgánicas y posterior decantación
- Filtración a través de un relleno conformado por arenas volcánicas
- Ozonización
- Irradiación con luz ultravioleta

En cada ensayo se utilizó como sustrato o muestra a tratar, las provenientes de establecimientos en funcionamiento, priorizando los emprendimientos que cuentan con algún sistema de tratamiento instalado y mantuvieron, durante el período de muestreo, una actividad comercial significativa.

Respecto del primero de los métodos ensayados fueron seleccionados insumos cuya manipulación no implicara riesgos demasiado importantes para los usuarios y de simple adquisición en el mercado.

En cuanto al material de relleno usado en el segundo de los métodos de tratamiento, se optó por las arenas volcánicas no solo por sus características y propiedades fisicoquímicas sino también por su relativa abundancia en la zona andina de la provincia de Río Negro.

En lo concerniente a la irradiación con luz UV, se utilizó una planta piloto facilitada por el DPA, para los ensayos en escala laboratorio.

Finalmente y en lo concerniente al proceso de ozonización, se empleó un equipo generador de ozono de condiciones operativas muy simples y con una amplia versatilidad de usos.

La alternativa de tratamiento seleccionada, oxidación de los contaminantes mediante el uso de ozono, asegura un correcto tratamiento para las aguas residuales provenientes de lavadero de ropa, al mismo tiempo que resulta en una técnica de simple aplicación, sin generar consecuencias negativas sobre el medio ambiente y con costos de inversión y operación razonables.

El informe comprende los resultados obtenidos con la aplicación del método seleccionado previamente, tratamiento con ozono generado in situ, en un establecimiento de lavado de prendas en funcionamiento. El prototipo empleado fue conformado no solamente por el equipo generador del gas oxidante (ozono), sino también por una serie de accesorios y modificaciones en las instalaciones existentes, que fueron materializadas a fin de optimizar el sistema de tratamiento con el objetivo de incrementar la eficiencia de la metodología.

Por último, se formulan una serie de recomendaciones generales sobre el manejo del sistema de tratamiento propuesto, así como también se proponen normas operativas básicas referidas a pautas de manejo tendientes a la minimización de residuos sólidos y líquidos, con un enfoque centralizado en prácticas ambientalmente sustentables para la actividad analizada.

## I. ESTUDIOS PRELIMINARES

### I.1 Recopilación de antecedentes

#### I.1.1 Algunos conceptos sobre los detergentes

De acuerdo a una definición presentada por la Real Academia española, y en el sentido más amplio de la misma, el término detergente se emplea para definir "aquello que tiene la virtud limpiar".

Otra definición relacionada, indica que la detergencia es "la acción de limpiar la superficie de un material sucio en un baño líquido en el que se disuelven uno o varios solutos -detergentes- que ayudan a la limpieza". Varios procesos diferentes contribuyen a la limpieza y su importancia relativa depende mucho de la naturaleza del sustrato, de la suciedad a ser eliminada y de las condiciones de limpieza (concentración de detergente, temperatura y grado de agitación). Los sistemas más importantes de detergencia emplean agua como solvente.

Los detergentes comerciales están compuestos en general por sustancias tensoactivas aniónicas, sales de ácidos grasos, que reemplazaron, a fines de la segunda guerra mundial a los jabones utilizados para lavado de textiles. Los tensoactivos o surfactantes forman parte de un 40% del total de la composición de la formulación del detergente, el resto contiene otras sustancias que favorecen su eficacia. La composición básica promedio incluye silicatos para mejorar el efecto de lavado y como anticorrosivos; carboximetilcelulosa para una mejor eliminación de la suciedad; enzimas para romper las cadenas proteicas de compuestos presentes en distintos tipos de manchas (debiendo en este caso efectuar el lavado a 40°C para que actúen las enzimas) y en aquellos detergentes baja espuma, de 10 a 20% de agente no-iónico antiespumante.

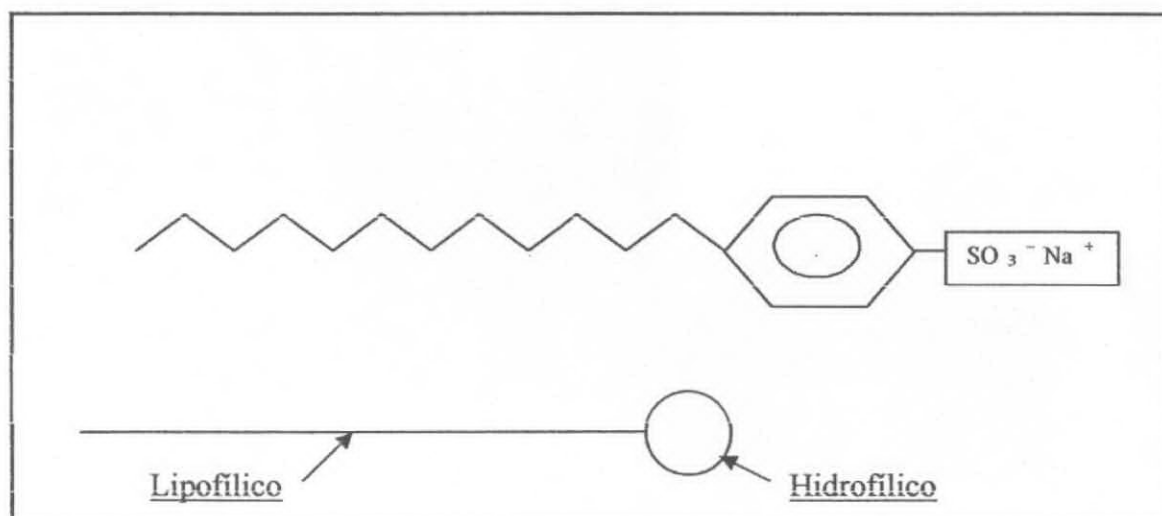
Emparentados químicamente con los jabones, compuestos de sales de ácidos grasos provenientes de aceites de origen vegetal y animal, y con funciones similares, los detergentes sintéticos aparecen en escena a partir del año 1933, desplazándolos paulatinamente en razón de una mejor performance en la acción de limpieza.

En aquel año empezaron a producirse los primeros detergentes sintéticos que, a diferencia de los jabones, presentaron un comportamiento diferente en relación con la coagulación de estos últimos en presencia de aguas duras, es decir con un alto contenido en sales de magnesio y calcio. Esta primera generación de detergentes, conformados básicamente por sales de un compuesto denominado alquilbenceno sulfonato, no era fácilmente biodegradable, dado que estos materiales sintéticos no son metabolizados por las bacterias existentes en plantas depuradoras de aguas residuales, y en consecuencia su vertido en cursos de agua ocasionó el empobrecimiento en la calidad del recurso.

Para paliar esta situación y luego de una intensa investigación, la industria de detergentes introdujo, a mediados de la década del 60, una línea de productos biodegradables conocidos como alquilbenceno sulfonatos lineales o LAS. El LAS es, después del jabón, el agente detergente más empleado en el mundo.

### 1.1.1.1 Tipos de surfactantes

Todos los surfactantes poseen una molécula con un grupo polar (hidrofilico e iónico) y un grupo no polar (hidrófobo y lipofílico). El grupo polar es en general un grupo funcional que contiene heteroátomos (O, S, N, P), en tanto que el grupo no polar es, en la mayoría de los casos, un hidrocarburo parafínico o alquil aromático. En la Figura N° 1 se muestra la estructura de un surfactante ampliamente utilizado en los polvos para lavar, denominado dodecil benceno sulfonato de sodio, y un esquema que representa la dualidad hidrófilo-lipófilo.



**Figura N° 1**  
**Estructura química surfactante**

Una clasificación típica para estos productos, se fundamenta en el poder de disociación del tensoactivo en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas. Pueden ser: iónicos o no-iónicos, y dentro de los iónicos según la carga que posea la parte que presenta la actividad de superficie serán: aniónicos, catiónicos y anfóteros.

Los *tensoactivos aniónicos* en solución se ionizan, y considerando el comportamiento de sus grupos en solución, el grupo hidrófilo queda cargado negativamente. Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Representantes de este grupo son derivados del ión sulfato o de sulfonatos como es el dodecil sulfato de sodio o dodecil bencen sulfonato de sodio.

Los materiales de mayor importancia industrial contienen cadenas de hidrocarburos saturados unidos directa o indirectamente a grupos sulfonato o sulfato, los que usualmente forman parte de los formulados de productos de limpieza de ropa y fregado de vajilla. Los primeros surfactantes aniónicos sintéticos que se explotaron comercialmente en gran escala fueron los alquilbencenos de cadena ramificada (conocidos como ABS), de características poco degradables desde el punto de vista biológico.

El dodecilbencenosulfonato sódico es un buen surfactante con excelentes propiedades de formación de espuma y como deriva de materias primas económicas y fácilmente disponibles, llenó aparentemente todos los requisitos técnicos y económicos de un surfactante sintético. Sin embargo, estos materiales son biológicamente "duros" y se degradan biológicamente con bastante lentitud debido al grupo alquilo altamente ramificado. Esto quiere decir que una proporción significativa de ABS sódico que va a los desagües domésticos sobrevive al tratamiento de aguas residuales y se descarga a los ríos y lagos. Con ello se originan espumas desagradables durante el tratamiento de aguas residuales y en los ríos. Estas espumas eran no sólo indeseables desde el punto de vista estético, sino que interferían en el tratamiento de aguas residuales de forma severa, inhibiendo la captación normal del oxígeno de las aguas naturales. En consecuencia, estos surfactantes biológicamente duros tenían que ser eliminados en áreas densamente pobladas.

Tal como se menciona en párrafos precedentes, para reemplazar a los anteriores, la industria de los surfactantes desarrolló los alquilbencenosulfonatos de cadena lineal (LAS), productos que se biodegradan mucho más rápidamente, es decir, son biológicamente "suaves". Estas sustancias de cadena lineal son surfactantes sintéticos, económicos, eficientes y con mucho, los de mayor éxito hasta la fecha.

Otros surfactantes aniónicos sintéticos son los sulfonatos de olefinas, con buenas propiedades en cuanto a la performance detergiva y a la biodegradabilidad de los mismos; los alquilsulfatos como los primeros surfactantes sintéticos empleados en productos detergentes y los sulfonatos de alcanos fácilmente biodegradables y con buenas propiedades detergivas.

Los agentes *tensoactivos anfotéricos* presentan en su molécula grupos aniónicos y catiónicos, constituidos por una cadena grasa y un nitrógeno cuaternario conteniendo un radical aniónico. Son productos completamente estables en sistemas ácidos y alcalinos y, tal como lo indica su nombre, actúan dependiendo del medio en que se encuentren, en medio



básico son aniónicos y en medio ácido son catiónicos. Ejemplo de surfactantes anfotéricos son las betaínas y derivados de imidazolininas : alquil dimetil betaína, alquil amida propil dimetil betaína.

Por último, los *tensoactivos catiónicos* están compuestos por un grupo alquilo hidrófobo unido a un grupo hidrófilo cargado positivamente. Todos los materiales de esta clase de importancia industrial están basados en compuestos de amonio cuaternario o en aminas.

Como las bases de cadena larga llevan una carga positiva y la mayoría de las superficies están cargadas negativamente en contacto con soluciones acuosas, estos surfactantes son sustantivos para un gran conjunto de materiales. Su adsorción tiende a anular las repulsiones eléctricas que ayudan a la detergencia y, por ello, los surfactantes catiónicos no se usan normalmente con fines de limpieza pero sí en la etapa de enjuague. El suavizante se adsorbe sobre las fibras de las telas y produce un efecto antiestático, neutralizando la carga negativa natural o adsorbida. Además produce un efecto lubricante y desenredante de las mismas.

Los *tensoactivos no iónicos* están compuestos de un grupo alquilo de cadena larga hidrófobo conectado a un grupo neutro altamente polar. El grupo polar debe ser suficientemente hidrófilo para llevar al grupo hidrófobo a solución acuosa. Los primeros surfactantes no iónicos de amplia utilización fueron los alquilfenoles etoxilados. Son biológicamente duros y están siendo ahora reemplazados por materiales biológicamente más blandos. Otros ejemplos de este tipo de surfactante son los ácidos grasos etoxilados y las aminas etoxiladas.

#### **1.1.1.2 Procesos involucrados en la acción detergiva**

Se presenta en este apartado una breve descripción sobre los mecanismos que operan en los detergentes vinculados con su poder de limpieza, lo que permitirá lograr un mayor conocimiento de sus propiedades y comportamientos, incluyendo aquella información que pueda vincularse con las diversas tecnologías de tratamiento evaluadas en el proyecto.

La mayoría de las operaciones concernientes al lavado ponen en juego un antagonismo entre los contaminantes más usuales, las grasas hidrocarbonadas y el agua. Cualquier sistema de detergente efectivo debe realizar las siguientes funciones: mojar la superficie del sólido a limpiar, desprender la suciedad de la misma y dispersar o disolver la suciedad en el líquido de lavado, de modo tal que el sustrato limpio pueda separarse del líquido de lavado sin que la suciedad se redeposite sobre él. Por otra parte, el sistema deberá ser estable en el medio, ácido o básico, y no dar productos insolubles en el agua.

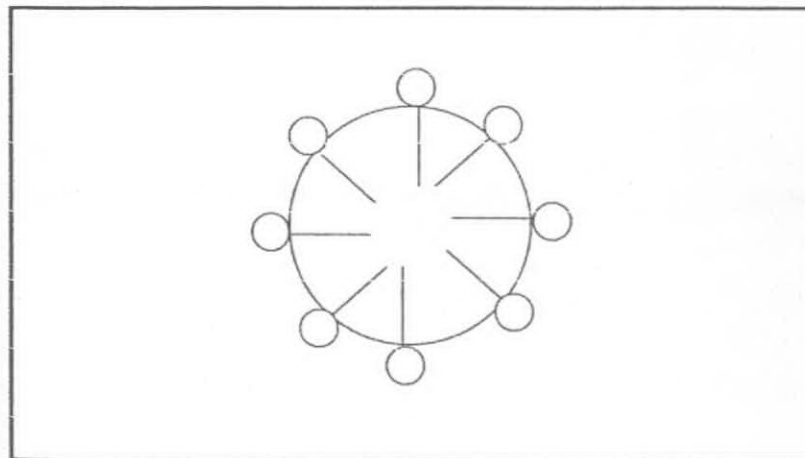
La clave del proceso radica en la naturaleza de las interfases entre el sustrato, la suciedad y el líquido de lavado. Un sistema detergente completamente formulado funciona

modificando las propiedades de estas interfases, cambiando así la energía de las interacciones entre la suciedad y el sustrato. Cuando una molécula de detergente se coloca en una interfase agua-aceite, puede orientarse de manera tal que el grupo polar queda en la fase acuosa (hidrofílico) y el no polar se ubica en la no acuosa (lipofílico). Desde el punto de vista energético se puede aseverar que la energía libre de una molécula de surfactante en la interfase es menor que la de una molécula en el seno de cualquiera de las dos fases implicadas (agua-aceite). Por este motivo, la transferencia desde el seno de una fase a la interfase, denominada adsorción, es espontánea.

La adsorción de detergentes no se limita a las interfases líquido-líquido, sino que también se produce en interfases líquido-sólido y gas-sólido. La adsorción en la interfase produce en general una reducción de la tensión superficial, de donde proviene el nombre de "tensoactivos", favoreciendo la deformación y ruptura de la interfase, lo cual constituye uno de los mecanismos por el que se produce la limpieza

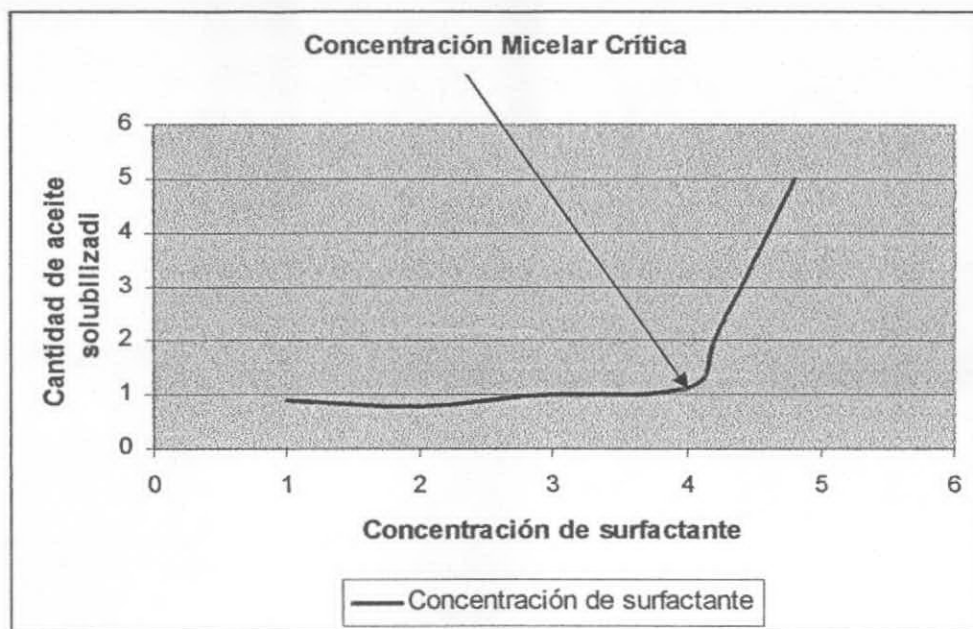
Cuando se alcanza una concentración crítica de surfactante en la interfase, la capa superficial se rompe en unidades más pequeñas, conformadas por agrupaciones de iones, llamadas micelas. En solución acuosa la fuerza motriz para la formación de micelas es el efecto hidrófobo de las cadenas no polares en contacto con las moléculas de agua y la formación de un contacto más favorable con las partes no polares de otras moléculas de surfactantes. Las cadenas hidrocarbonadas de moléculas vecinas se atraen mutuamente por fuerzas intermoleculares (denominadas Fuerzas de Van der Waals) más fuertemente que con las moléculas polares del agua.

Las micelas son partículas en las que la parte hidrofóbica de la molécula, repelida por el agua, se sitúa en el interior mientras que las cabezas hidrofílicas, cargadas negativamente, se colocan en el exterior de la micela e interaccionan con las moléculas de agua y los iones positivos del medio (Figura N° 2). Las micelas son responsables del poder solubilizante de los surfactantes.



**Figura N° 2. Estructura Micelar**

En la Figura N° 3 se esquematiza la variación de la concentración de un aceite solubilizado en una solución de surfactante en función de la concentración de este último. Al alcanzar la denominada Concentración Micelar Crítica (CMC), la solubilización aumenta notablemente en razón que el hidrocarburo penetra en el corazón de la micela. Como los detergentes son generalmente iónicos, las micelas están rodeadas de cargas eléctricas lo cual impide su coalescencia es decir el agrupamiento micelar



**Figura N° 3**  
**Concentración Micelar Crítica**

La grasa componente de la suciedad, se parece en su composición química a las cadenas hidrocarbonadas de la micela. Si se frota una mancha de grasa con una solución de surfactante, se provoca que la grasa se rompa en partículas suficientemente pequeñas para ser englobadas dentro de las micelas. Las partículas pasan a la solución gracias a la porción hidrocarbonada del tensoactivo, que se mantiene en suspensión por la interacción de la superficie iónica de las micelas con el agua que las rodea. Se dice entonces que la grasa se ha emulsionado o que está suspendida en un medio en el que normalmente no es soluble.

### I.1.2 Los detergentes como potenciales agentes de contaminación del ambiente

Una parte significativa de los detergentes sintéticos usados actualmente, son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. Aquellos que no pueden ser degradados por los microorganismos provocan grandes problemas de contaminación del agua de los lagos, ríos y aguas subterráneas donde son vertidos. Al ser arrojados en estos cuerpos de agua se produce una disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto dificultando en consecuencia la vida acuática. El poder

contaminante de los detergentes se manifiesta en la vegetación acuática inhibiendo el proceso de fotosíntesis.

Los detergentes producen formación de espumas, aún con cantidades bajas del contaminante, que puede ocasionar, además de impactos estéticos, la vehiculización de bacterias patógenas (microbacterias) y la concentración de virus (hepatitis y polio).

Por otra parte, la presencia de detergentes en cuerpos de agua, altera la transferencia y disolución de oxígeno, a causa de una capa superficial protectora que dificulta la renovación del oxígeno disuelto en la interfase aire-agua. De esta forma se ralentiza el proceso de autodepuración de las corrientes de agua.

Respecto del tratamiento biológico de efluentes, concentraciones del orden de las 30 partes por millón (ppm), producen perturbaciones particularmente en procesos de lodos activados, como el empleado en la ciudad de Bariloche para la depuración de efluentes cloacales. Asimismo, operan inhibiendo la flora nitrificante, conjunto de microorganismos de vital importancia para lograr la remoción de compuestos de nitrógeno en el citado tratamiento.

La disposición de efluentes con un contenido importante de detergentes, alteran la permeabilidad de los suelos y, en consecuencia, facilitan la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas. Tal como se indicó previamente, los detergentes facilitan el desplazamiento de bacterias coliformes de diverso tipo (fecales por ejemplo).

En concentraciones relativamente altas, del orden de 50 mg/L, modifican el olor y el sabor del agua para consumo humano. El umbral del sabor es frecuente situarlo en 40 mg/l., no obstante algunos individuos detectan el sabor en concentraciones de 16 mg/l.

Por su parte los detergentes que contienen fósforo en su composición química, producen un efecto negativo adicional sobre el medio ambiente potenciando el proceso de eutrofización de las aguas (al punto que en algunos países se ha prohibido su uso). El término eutrofización define el enriquecimiento del recurso en materia orgánica y nutrientes, con cambios bióticos asociados que se traducen en un intenso deterioro de la calidad del agua del cuerpo receptor, alterando los usos previstos y generando consecuencias directas no deseadas sobre las economías ligadas a ese recurso.

La presencia de nutrientes (compuesto de nitrógeno y fósforo principalmente) favorece el crecimiento masivo de algas y lirios, generando grandes cantidades de masas vegetales sobre las aguas y su acumulación en las riberas. En el proceso de descomposición de estos vegetales se consumen grandes cantidades de oxígeno y dependiendo de las condiciones del recurso, se produce una notable disminución del oxígeno disuelto afectando severamente las posibilidades de supervivencia de muchas formas de vida que componen el ecosistema. Las principales fuentes de tales nutrientes son los vertidos puntuales de

efluentes sin tratamiento y los aportes difusos de escorrentías contaminadas (particularmente en el caso de zonas agrícolas con uso de fertilizantes en gran escala).

Algunos de los cambios más significativos generados por procesos de eutrofización se presentan en la Tabla N° 1:

**Tabla N° 1. Efectos de la eutrofización**

Cambios Biológicos	→ Desarrollo masivo de algas → Aumento de la actividad bacteriana → Mortandad y/o enfermedad de animales acuáticos
Cambios Físicos	→ Acumulación de restos vegetales y animales y modificación de la tasa de circulación del agua → El agua se torna parda y maloliente
Cambios Químicos	→ Reducción drástica del oxígeno disuelto → Aumento en la concentración compuestos nitrogenados y fosforados

Son pocas las regiones en el mundo en que todavía no se han manifestado problemas más ó menos graves por pérdida de fuentes potenciales de agua dulce, degradación de la calidad del agua y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Las causas más usuales que determinan el empobrecimiento de la calidad del agua son el vertido de efluentes residuales domésticos y/o industriales mal tratados, la deforestación, la agricultura migratoria, los malos métodos de cultivo (que producen un aporte extraordinario de nutrientes y plaguicidas) y la disposición inadecuada de residuos de diversa índole. En consecuencia, los ecosistemas acuáticos se ven perturbados y los recursos vivos de agua dulce amenazados.

En este contexto y considerando que el lago Nahuel Huapi, receptor directo ó indirecto de vertidos de diferentes fuentes, conserva aún sus cualidades tróficas, resulta imprescindible adoptar una firme actitud proactiva con el objetivo de evitar la adopción de posteriores medidas de mitigación de los posibles pasivos ambientales generados, que implican costos muy elevados y cuyos resultados no siempre son lo suficientemente adecuados.

### I.1.3 Legislación vigente en ámbitos provincial, nacional e internacional

En este capítulo se presentan las diferentes normativas vigentes en materia de valores máximos permitidos para vertido de efluentes, en distintos cuerpos receptores, en ámbitos provinciales, nacional e internacional.

En cada caso se analizan los parámetros de interés para el estudio, considerando no solamente son los que serán evaluados y monitoreados en el desarrollo del plan de trabajo (detergentes, DQO, pH, conductividad, temperatura), sino además aquellos que puedan relacionarse de manera más o menos directa con los mismos.

#### I.1.3.1 Leyes de alcance provincial

##### I.1.3.1.1 Provincia de Río Negro

En el ámbito de la provincia de Río Negro se encuentra promulgada y en vigencia la Ley Provincial N° 2952 (febrero de 1996) que en su Libro Tercero, "Régimen de protección y Conservación de los Recursos Hídricos", establece la adecuación de los desagües provenientes de los establecimientos industriales (Art N° 166).

Dado que este y otros artículos de interés de la precitada ley no han sido reglamentados, son de aplicación las disposiciones instrumentales previstas para la anterior Ley Provincial N° 2391 (Res. 378/92). Así, los valores límites para vertido de efluentes industriales en diferentes cuerpos receptores son los que figuran en la Tabla N° 2:

**Tabla N° 2. Límites de vuelco, Provincia Río Negro**

PARÁMETRO	LÍMITES PERMISIBLES EN EL VERTIDO		
	A colectora cloacal	A conducto pluvial	A curso de agua
pH	Entre 6 y 10	Entre 6 y 10	Entre 6 y 10
Temperatura	< 50 ( °C )	< 50 ( °C )	< 50 ( °C )
Sólidos sedimentables en 10'	< 0.5 ( ml/l )	*	*
Sólidos sedimentables en 2 horas	< 1.0 ( ml/L )	< 1.0 ( ml/L )	< 1.0 ( ml/L )
DBO <sub>5</sub>	< 250 ( mg / L )	< 50 ( mg/L )	< 50 ( mg/L )
DQO	< 500 ( mg / L )	< 250 ( mg / L )	< 250 ( mg / L )
Detergentes	< 2.0 ( mg / L )	< 1.0 ( mg / L )	< 1.0 ( mg / L )

(\*) Sin restricciones

### **I.1.3.1.2 Capital Federal y Conurbano Bonaerense**

La normativa vigente en estos casos, Ley N° 13.577 modificada por su similar N° 20.324, es reglamentada por el decreto N° 674/89 y las disposiciones reglamentarias de la Resolución N° 79.179/90.

El ámbito de aplicación definido para esta normativa es la Capital Federal y los Partidos de la Provincia de Buenos Aires, acogidos al ex - régimen de Obras Sanitarias de la Nación.

En la mencionada Resolución se indican los siguientes valores límites permisibles en el vertido de efluentes:

**Tabla N° 3. Límites de vuelco, Capital Federal y Gran Buenos Aires**

PARÁMETRO	LÍMITES PERMISIBLES EN EL VERTIDO		
	A colectora cloacal	A conducto pluvial	A curso de agua
pH	5.5 – 10	5.5 – 10	5.5 – 10
Temperatura	45 (°C)	45 (°C)	45 (°C)
Sólidos sedimentables en 10'	0.5 (ml/L)	---	0.5 (ml/L)
Sólidos sedimentables en 2 horas	---	1.0 (ml/L)	---
DBO <sub>5</sub>	200 mg/L	50 mg/L	50 mg/L
DQO	< 250 ( mg / L)	< 250 ( mg / L)	< 250 ( mg / L)
Detergentes	5 mg/L	5 mg/L	5 mg/L

### **I.1.3.1.3. Provincia de Buenos Aires excepto Conurbano bonaerense**

En este ámbito tiene aplicación la Ley 5965 y sus Decretos reglamentarios N° 2009/60 y 3970/90, en los que se disponen las normas de vertido que figura en la Tabla N° 4.

**Tabla N° 4. Normas de vertido, Provincia de Buenos Aires**

PARÁMETRO	LÍMITES PERMISIBLES EN EL VERTIDO		
	A colectora cloacal	A conducto pluvial/curso de agua	Absorción en suelo
pH	7 – 10	6.5 – 10	6.5 – 10
Temperatura	< 45 °C	< 45 °C	< 45 °C
Sólidos sedimentables en 10'	Ausente	Ausente	Ausente

PARÁMETRO	LÍMITES PERMISIBLES EN EL VERTIDO		
	A colector cloacal	A conducto pluvial/curso de agua	Absorción en suelo
Sólidos sedimentables en 2 horas	< 5.0 ml/L	< 1.0 ml/L	< 5.0 ml/L
DBO <sub>5</sub>	< 200 mg/L	< 50 mg/L	< 200 mg/L
DQO	< 700 mg/L	< 250 mg/L	< 500 mg/L
Detergentes	< 10 mg/L	< 2.0 mg/L	< 2.0 mg/L

### I.1.3.2. Ley de alcance nacional

En el año 1992 se promulga el decreto N° 776/92 en el cual se asigna a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano, el poder de control de contaminación de las aguas y la preservación de los recursos hídricos.

De acuerdo a lo dispuesto en el Art. N° 2 del citado Decreto se mantienen vigentes las disposiciones instrumentales dictadas en el decreto N° 674/89 y Resolución N° 79.179/90, indicándose que la normativa se aplicará en la Capital Federal, en aquellos partidos de la Provincia de Buenos Aires en los que preste servicios la Empresa Obras Sanitarias de la Nación o el concesionario designado (actualmente Aguas Argentinas S.A.) y en demás territorios nacionales.

### I.1.3.3. Legislación vigente en Estados Unidos

En los Estados Unidos se definen valores guía para el vertido de efluentes generados en diversas industrias, dentro de las cuales se incluyen los lavaderos de ropa. En este marco cabe destacar que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de ese país, no incluye a los surfactantes como contaminantes de interés y en consecuencia no fija valores límites para su vertido.

Los criterios usados por la EPA para identificar a los contaminantes de interés comprenden: sustancias no encontradas en un muestreo exhaustivo realizado entre el año 1993 y 1996; componentes identificados en el muestreo pero sin una técnica de análisis confiable; contaminantes encontrados en el efluente crudo en concentraciones similares que el cuerpo receptor; contaminantes que son removibles por los sistemas de tratamiento existentes (razón por al cual elimina a los surfactantes del listado)

Los límites definidos para el parámetro pH comprende el rango 6 a 9, mientras que el valor determinado para la D.B.O.<sub>5</sub> para el vertido en colector cloacal es de 300 mg/L.



#### **I.1.3.4. Legislación vigente en España**

En un estudio en el que se comparan los límites de vertidos de efluentes industriales dentro del país (Orús Lacort, M<sup>a</sup> Angels.; Capafons, Cristina; Tusell Ossould, Eva; Mantecón Pascual, Rafael. 2003), basado en las Ordenanzas y Reglamentos vigentes en las distintas provincias españolas, se informan los siguientes valores máximos para los contaminantes de interés.

En la tabla N° 5 se presentan los valores máximos y mínimos para algunos parámetros fisicoquímicos, los que demuestran una variación muy significativa entre los valores extremos, dependiendo de cuál es el destino final del vertido.

**Tabla N° 5. Límites vigentes en las provincias de España**

PARÁMETRO	LÍMITES PERMISIBLES EN EL VERTIDO
	A colectora cloacal
pH	entre 5.8 y 9.7
Temperatura	entre 0 y 65 °C
DBO <sub>5</sub>	entre 50 y 1000
DQO	entre 300 y 2000
Detergentes	entre 3 y 30

#### **I.1.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO**

En esta sección se describen las principales tecnologías de tratamiento de efluentes generados en lavaderos industriales, empleadas para la eliminación de los contaminantes objetos del presente estudio y de otros no incluidos en el mismo (EPA, marzo 2000).

Cabe destacar que en algunos casos la alternativa descrita es aplicable a grandes establecimientos y su adaptación a lavaderos de menor escala, es impracticable o no recomendable.

Las tecnologías de tratamiento incluyen:

- Sedimentación por gravedad
- Separación de flujos
- Tamizado
- Ecuación
- Ruptura química de emulsiones
- Precipitación química
- Flotación con aire disuelto (DAF)
- Deshidratación de fangos
- Ultrafiltración

- Centrifugación
- Separación agua/aceite
- Filtración
- Ozonización
- Irradiación con luz UV

#### ➤ **Sedimentación por gravedad**

La metodología es básicamente empleada para remover sólidos suspendidos del efluente proveniente de lavaderos. El líquido es colectado en una cámara donde es retenido por un período de tiempo determinado, permitiendo que los sólidos con altos pesos específicos sedimenten en el fondo del tanque, en tanto aquellos con un menor peso específico flotan en la superficie.

La efectividad de la sedimentación de sólidos depende de las características del desecho y del lapso que el efluente permanece en el tanque. Dispositivos apropiadamente diseñados permiten lograr significativas reducciones en sólidos suspendidos y demanda biológica de oxígeno (5 días), y en menor proporción detergentes.

Los sólidos que no sedimentan o flotan en la superficie, pueden ser removidos con barredores, automáticos o manuales, y colectados en unidades adicionales para su posterior tratamiento y disposición. Las cámaras deben ser periódicamente limpiadas y los sólidos retenidos colectados para disposición final.

En un estudio efectuado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), sobre 97 establecimientos, el tiempo de residencia promedio del efluente en las cámaras de sedimentación fue 2.3 horas. En ese mismo informe se indica que al menos 10 emprendimientos agregan productos químicos a las unidades de sedimentación para mejorar las performances de los dispositivos (polímeros, ácido sulfúrico y otros).

#### ➤ **Separación de flujos**

El proceso de separación de flujos o corrientes de efluentes constituye un mecanismo que permite el tratamiento de las distintas porciones del efluente total producido por un lavadero industrial. Puede ser usado para separar y tratar una corriente con alta carga contaminante, mientras que aquella con menor carga puede ser reciclada y reusada o descargada sin tratamiento, en función de su baja carga, en algún cuerpo receptor apropiado. La tecnología permite instalar un sistema más pequeño, por cuanto solamente procesa los pulsos de efluentes con una carga de contaminantes significativa. Además es posible reducir el consumo de agua fresca a partir del aprovechamiento del efluente con baja concentración de contaminantes.

Un sistema de conductos separados y cámaras independientes es usado para dividir las corrientes o pulsos de efluentes. El sistema se instala con dos líneas completamente separadas, en tanto que las instalaciones preexistentes deben ser modificadas en ese sentido. Las cañerías son usualmente de cloruro de polivinilo (PVC) en razón de su compatibilidad con las características del efluente producido en los lavaderos.

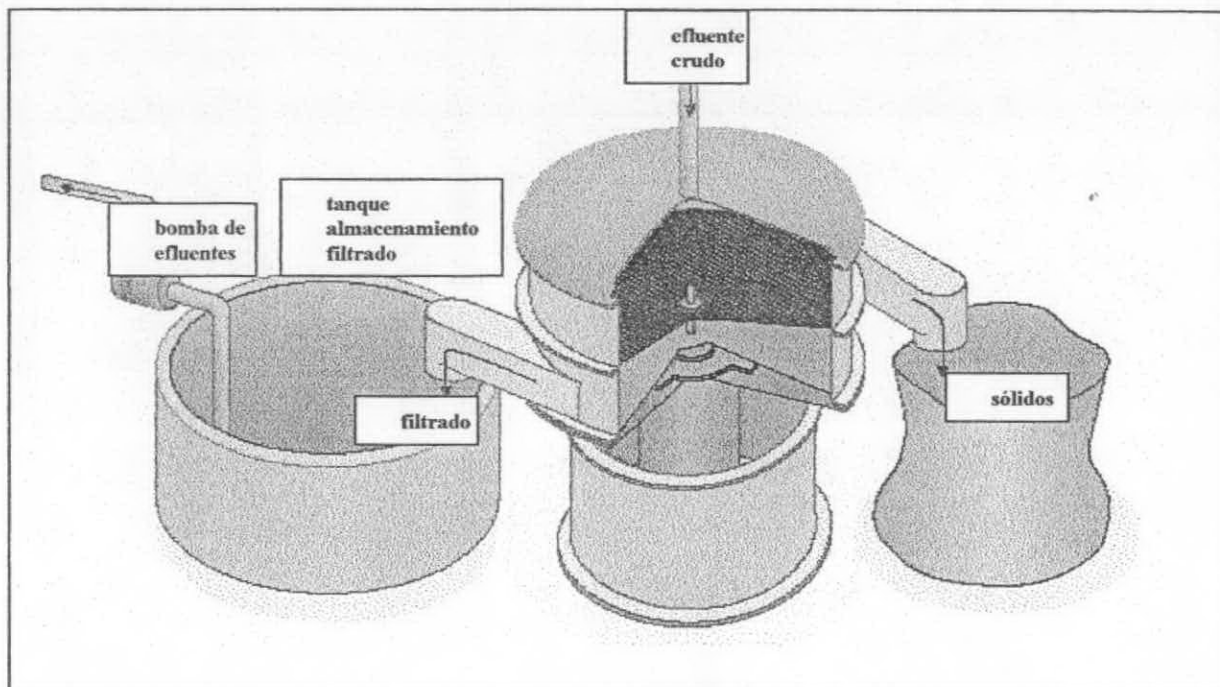
Otra posibilidad es que cada una de las máquinas empleadas en el procedimiento de limpieza, pueda liberar el efluente en ductos independientes, o ser usadas para el lavado de un grupo determinados de ítems, de manera tal que la descarga de efluentes pueda ser dirigida a través de la línea de cañerías apropiada. De esta manera se puede direccionar la descarga de los lavados iniciales, que contiene el agua más sucia, hacia el sistema de tratamiento más exhaustivo, mientras que los enjuagues finales pueden ser almacenados para su posterior reuso o disposición final.

### ➤ **Tamizado**

Los efluentes son a menudo tamizados como etapa preliminar de posteriores tratamientos, a fin de eliminar pelusas y sólidos suspendidos que potencialmente puedan interferir en las subsiguientes etapas.

El tamizado grueso es normalmente realizado mediante una reja construida con barras de acero, que permite la libre circulación del líquido reteniendo los objetos de mayor tamaño. Las rejillas pueden ser de limpieza manual o automática. El tamizado fino se efectúa a través de mallas construidas con alambre o por medio de placas de metal perforadas. Se diseñan para remover pelusas de hilos y otras partículas pequeñas. Los tamices deben ser limpiados o cambiados rutinariamente para prevenir el taponamiento de las líneas de conducción del efluente.

Los tamices rotativos y de agitación, están equipados para remover las partículas retenidas, asegurando la continuidad de la operación de lavado. Los dispositivos de agitación operan por vibración intermitente, forzando a los sólidos de la superficie del tamiz a desprenderse del mismo. Pueden incluir accesorios como cepillos y pulverizadores de agua, para mejorar la performance del mecanismo. La Figura N° 4 presenta un esquema de un tamiz rotativo, como el recién descrito.



**Figura N° 4**  
**Tamiz Rotativo**

El tamiz rotativo consiste en un cilindro que gira dentro de una cámara. El efluente pasa a través del sistema en rotación y los sólidos son colectados sobre la superficie interior del aparato. La metodología para remoción de las partículas es similar a la recién descrita.

El tamizado fino puede ejecutarse antes o después de una cámara de sedimentación. La ventaja de tamizar antes de sedimentar es que se reduce la cantidad de sólidos sedimentados y acumulados en la cámara de decantación, reduciendo los costos de mantenimiento de la misma.

#### ➤ **Ecualización**

Es empleada para controlar las fluctuaciones de flujo y carga contaminante de los efluentes, previo al tratamiento, para evitar problemas operacionales, reducir el costo de las unidades de tratamiento y mejorar su performance globalmente.

Los sistemas de actualización son diseñados para eliminar las variaciones en el vertido (flujo, pH, carga contaminante, etc) reteniendo el caudal de efluente hasta que pueda ser descargado a una tasa constante y con características fisicoquímicas uniformes. Las unidades de ecualización pueden estar equipadas con agitadores a fin de lograr un mejor mezclado del efluente y evitar al mismo tiempo la sedimentación de sólidos. Es factible también, el agregado de productos químicos por ejemplo para ajustar el valor del pH.

### ➤ Ruptura química de emulsiones

Se usa básicamente para eliminar principalmente aceites y grasas e indirectamente los detergentes que operan en la emulsión. En una emulsión estable, el aceite es dispersado dentro del agua gracias a la acción de los surfactantes que componen los detergentes de lavado, operando en ese caso fuerzas de repulsión eléctricas que impiden la aglomeración de las microgotas de aceite.

La adición de ácido neutraliza las cargas eléctricas entre el aceite y el agua, permitiendo que el aceite forme una fase separada dentro del agua y precipitando las sales de los surfactantes aniónicos.

Varios cationes son efectivos como agentes desemulsionantes, hidrogeno ( $H^{+1}$ ), aluminio ( $Al^{+3}$ ) y hierro ( $Fe^{+3}$ ), empelados en forma de ácidos, sales ferrosas y de aluminio y cationes poliméricos. El producto se agrega a la corriente del efluente y se lo deja reaccionar con el líquido el tiempo necesario para permitir la ruptura de la emulsión, ocasionando la formación de una capa oleosa que flota en superficie y la precipitación de los emulsionantes como sales. El mezclado mecánico incrementa la efectividad del desemulsionante por dispersión de las sustancias químicas dentro del agua.

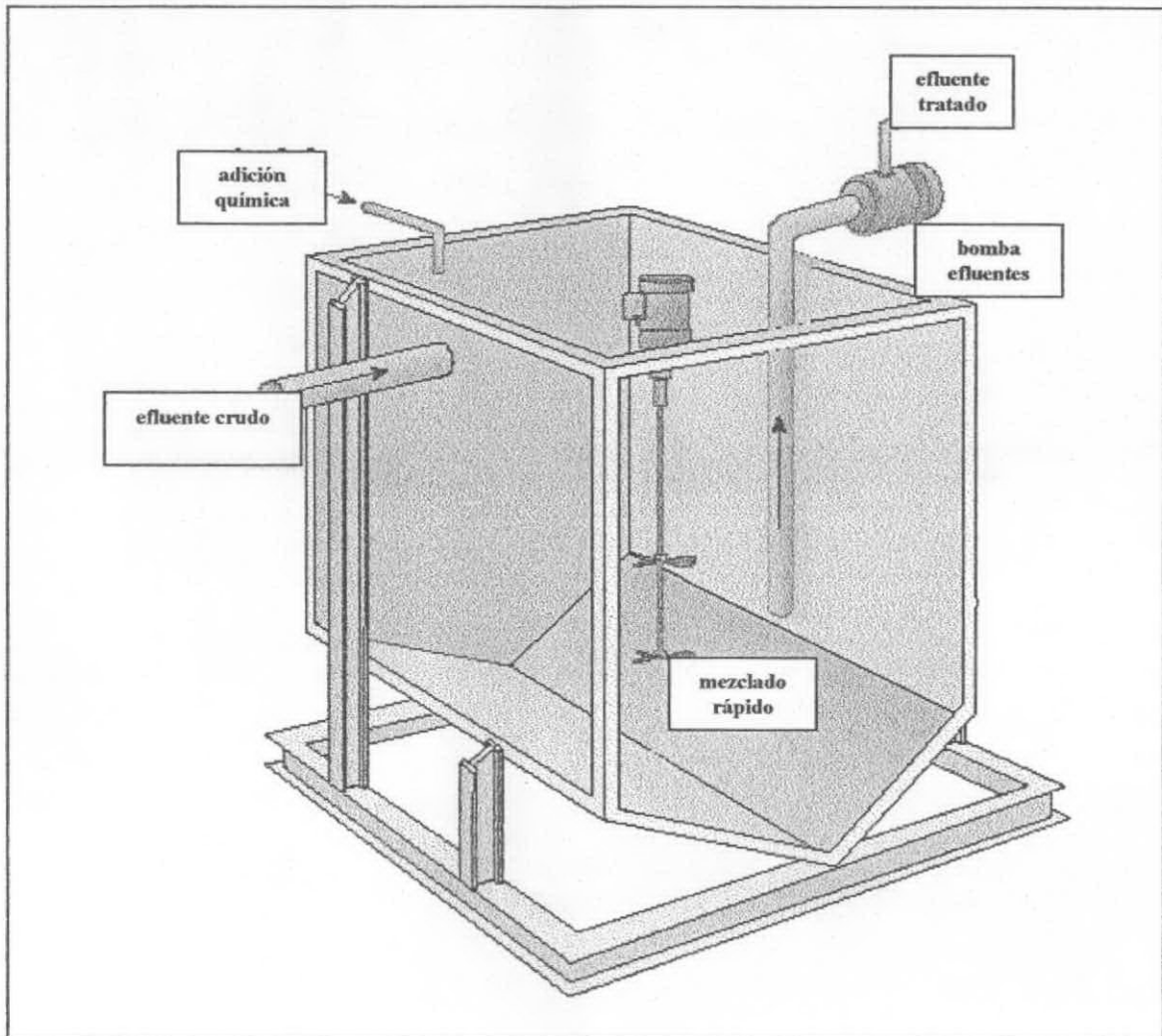
La capa superior puede ser removida mediante el control del nivel de agua dentro de la unidad, en tanto que los sólidos precipitados deben ser removidos periódicamente del fondo de la misma.

### ➤ Precipitación química

Es uno de los métodos mas utilizados para el tratamiento de efluentes, removiendo productos orgánicos, aceites y contaminantes disueltos como los detergentes. Adyuvantes de precipitación como la cal, funcionan por reacción con los cationes y algunos aniones convirtiéndolos en formas químicas insolubles. El pH del efluente afecta la cantidad de contaminante precipitado, en general se requieren valores altos para incrementar el rendimiento del proceso. Cal y otros materiales cáusticos incrementan el pH y reaccionan con los iones disueltos para formar compuestos insolubles.

En las unidades de precipitación química, es usual la utilización de coagulantes y floculantes que facilitan la formación de grandes aglomerados de partículas que precipitan más fácilmente, permitiendo su eliminación del efluente. Los flóculos pueden tener cargas superficiales tales que se repelen unos a otros, lo cual dificulta la precipitación de los mismos. Los coagulantes se unen a las partículas y convierten las cargas superficiales, y como resultado de ello se produce las aglomeraciones de las mismas y su consecuente precipitación. Algunos de los coagulantes más empleados son el cloruro férrico, sulfato de aluminio y cationes poliméricos.

En el proceso de precipitación química, el efluente es mantenido dentro de la unidad de tratamiento el tiempo necesario para permitir la sedimentación de los sólidos. Luego, el agua clarificada es bombeada y los lodos remanentes eliminados para su disposición final. La figura N° 5 muestra un diagrama del proceso de precipitación química en batch.

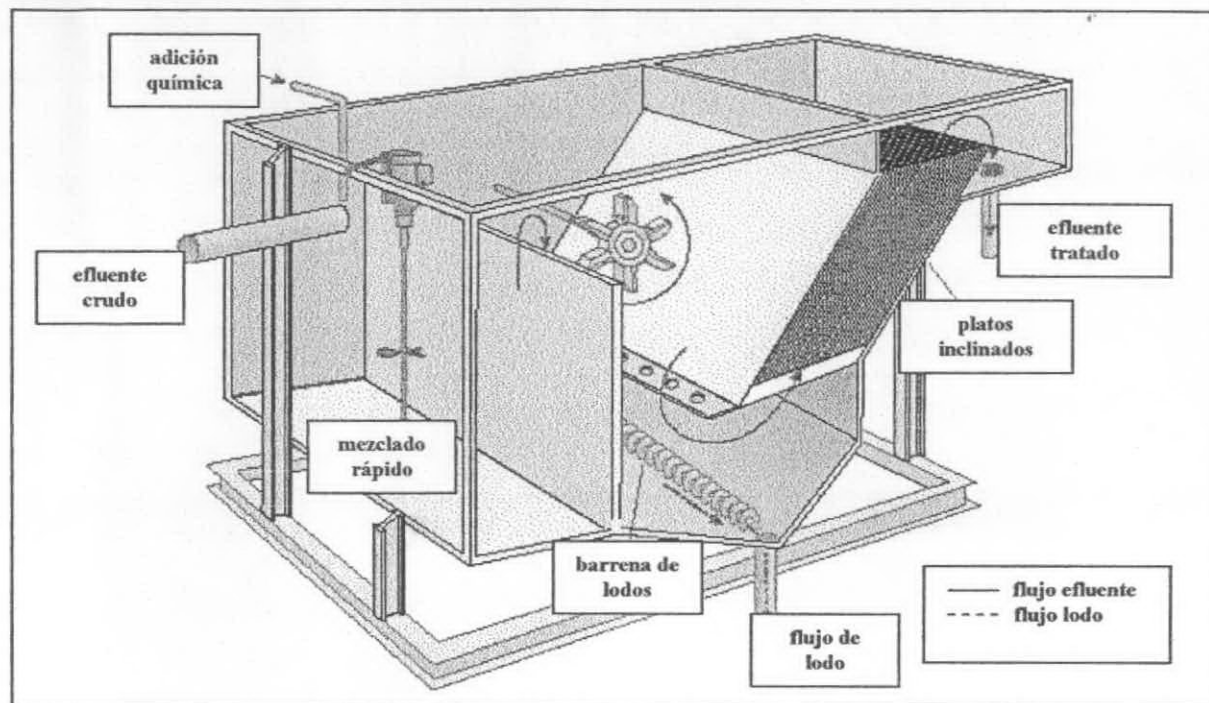


**Figura N° 5**  
**Precipitación química en batch**

Cuando se trata de sistema tipo batch, se requiere del uso de dos cámaras para contener el efluente, conectadas en paralelo, una de ellas se emplea para procesar el efluente, en tanto que la otra colecta el líquido a ser tratado en el próximo batch. En consecuencia el procesamiento en batch, demanda mayor espacio que los tratamientos continuos.

En un proceso continuo, se emplean estructuras hidrodinámicas que empujan los sólidos hacia abajo a medida que el flujo de agua pasa. Estas estructuras comprenden una serie de platos en paralelo arregladas tangencialmente respecto del flujo de efluente. En tanto el agua fluye entre ellos, las partículas más pesadas impactan contra las superficies de los platos forzándolas hacia el fondo de la unidad donde son colectadas. A causa de los

relativamente cortos tiempos de retención requeridos, el espacio necesario es sensiblemente inferior al demandado en procesos batch o discontinuos. La figura N° 6 representa el sistema de tratamiento por precipitación química en continuo.



**Figura N° 6**  
**Precipitación química continua**

Los productos químicos usados con mayor frecuencia en la precipitación química incluyen cal, polímeros aniónicos y polímeros catiónicos.

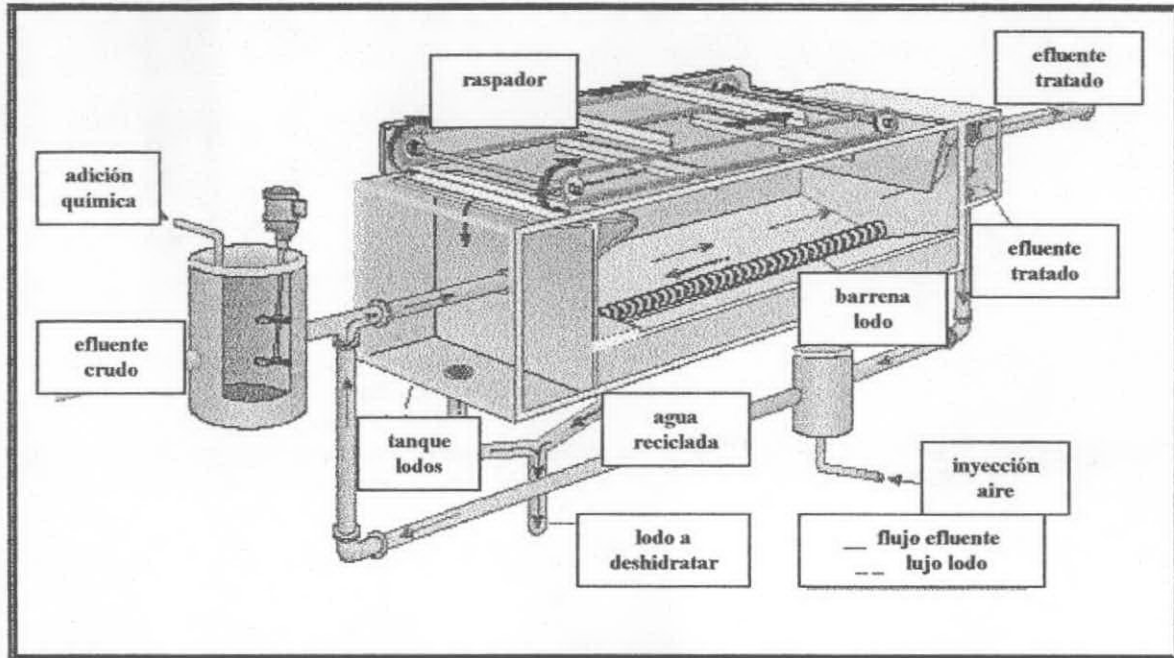
### ➤ Flotación con aire disuelto (DAF)

El sistema DAF es utilizado para remover sólidos suspendidos, emulsiones y algunos contaminantes disueltos (como los detergentes) presentes en el efluente. El tratamiento DAF involucra la coagulación y aglomeración de sólidos y emulsiones, y la flotación del floc resultante mediante aire presurizado inyectado dentro de la unidad de tratamiento.

DAF usa una corriente de aire inyectada en el fondo de la unidad de tratamiento a fin de facilitar la flotación de los sólidos precipitados. El aire inyectado forma burbujas pequeñas que arrastran las partículas o flocs, transportándolas hacia la superficie. El sistema requiere de un dispositivo para remover los sólidos de la superficie.

El método DAF es comúnmente usado cuando el tratamiento por sedimentación no es eficaz. Las unidades DAF son operadas en procesos continuos e incorporan tanques de

mezclado químico, cámaras de flotación y recolectores de lodos. En la siguiente figura N° 7 se muestra un diagrama del sistema DAF.



**Figura N° 7**  
**Sistema DAF**

### ➤ Deshidratación de fangos o lodos

El proceso de deshidratación elimina el agua del lodo que se genera en el tratamiento del efluente. Algunos de los beneficios de la operación son los siguientes:

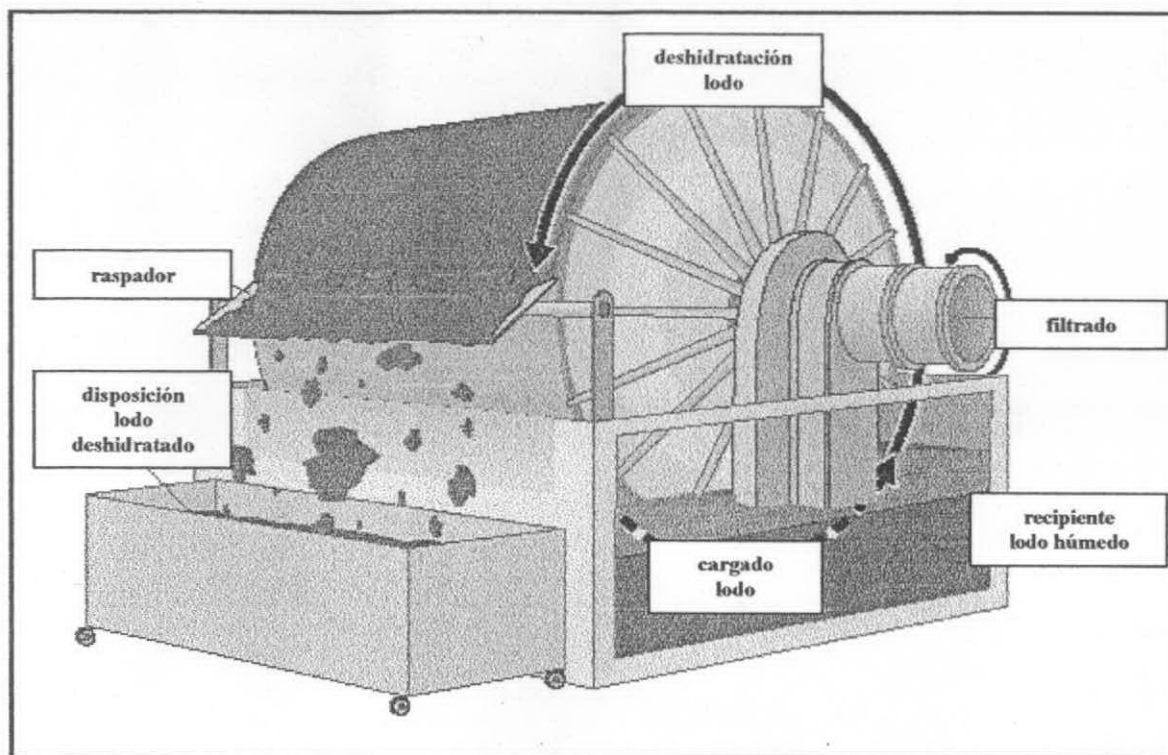
- Reducción sustancial de los costos de disposición del barro por reducción de su volumen.
- Se facilita su transporte
- En algunas normativas es un requerimiento formulado para su disposición sobre el terreno, por cuanto se minimiza la producción de lixiviado.

La deshidratación puede involucrar diversas técnicas, como por ejemplo, la evaporación natural, el secado mediante el uso de calor, la filtración, la centrifugación y el vacío. Los dos métodos más empleados en los lavaderos son los filtros prensa y el filtro rotatorio por vacío.

El filtro rotatorio es un tambor cilíndrico con un medio filtrante alrededor de su perímetro. El tambor es suspendido horizontalmente dentro de una cámara donde es sumergido parcialmente dentro del lodo. El tambor es rotado y la superficie del filtro

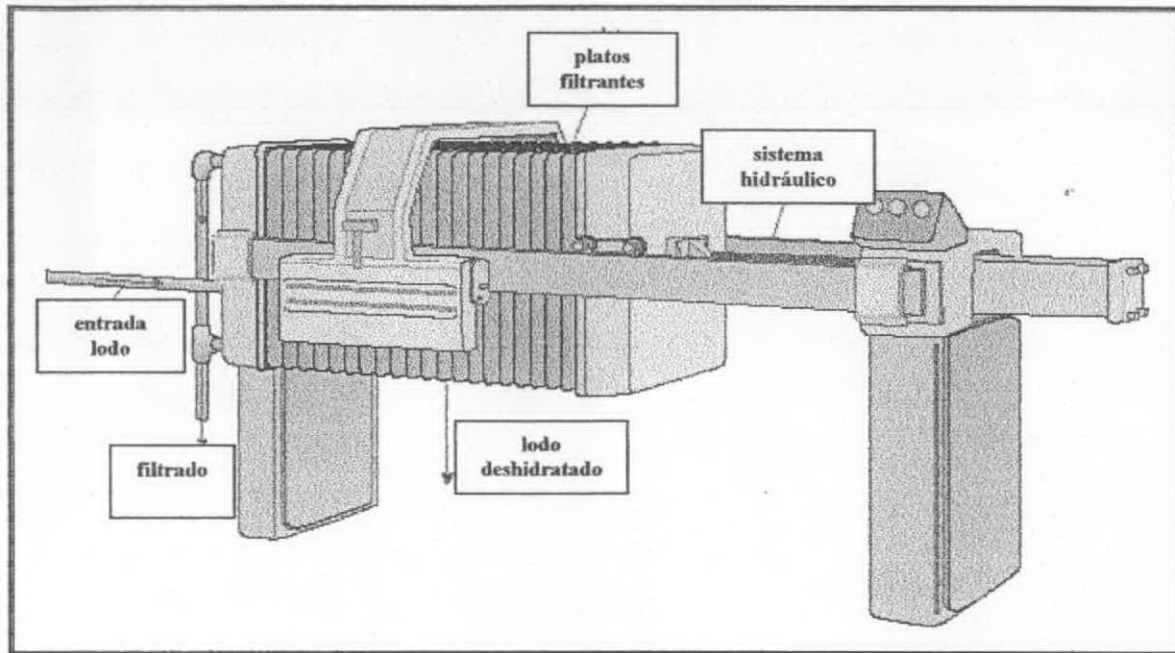


contacta con el lodo mientras se aplica vacío desde su interior. Esto produce el arrastre del agua a través del medio filtrante hacia el eje de rotación del filtro y la descarga por una esclusa para el filtrado. Los sólidos quedan atrapados contra el medio filtrante formando una torta deshidratada alrededor del tambor, que es continuamente raspada y recolectada separadamente. La figura N° 8 presenta un diagrama del filtro por vacío rotativo.



**Figura N° 8**  
**Filtro vacío rotativo**

Los filtros prensa usan presión positiva para hacer pasar el agua a través del medio de filtración. La unidad de filtración comprende una serie de platos entre los que se intercala el medio filtrante (generalmente telas resistentes), los que son mantenidos juntos a través de un dispositivo hidráulico que los sostiene. A medida que el lodo es forzado a través del sistema, el agua es drenada por un ducto concebido a tal efecto y los sólidos conforman la torta deshidrata que queda retenida entre los platos. Cuando finaliza el ciclo se retiran los platos y los sólidos son colectados para su posterior disposición. En la figura N° 9 se observa un esquema del filtro prensa.



**Figura N° 9**  
**Filtro prensa**

➤ **Ultra filtración / Micro filtración**

La ultra filtración y micro filtración usan membranas poliméricas para separar material emulsionado y coloidal suspendido, por presurización del efluente a través de la membrana. El líquido es bombeado a través de una membrana, permitiendo que el agua y algunos compuestos de bajo peso molecular pasen por ella. Las gotas de aceites emulsionadas, los detergentes y las partículas suspendidas son retenidas y removidas continuamente.

Es una técnica menos costosa que el tratamiento químico pero usualmente requiere de un pretratamiento de remoción de sólidos, a fin de evitar el taponamiento de la membrana.

➤ **Centrifugación**

Consiste en la aplicación de fuerzas centrífugas para separar los sólidos de mayor peso específico, los que usualmente contienen cantidades no despreciables de detergentes. Los dos tipos más comunes de centrifugas son el decantador de sólidos y la centrifuga tipo canasta. El primero de ellos consiste en un recipiente montado horizontalmente y con un sistema colector en uno de sus extremos. El lodo o el efluente se introducen continuamente mientras que el recipiente rota y los sólidos se concentran en las paredes interiores como resultado de la fuerza centrífuga. Un tornillo helicoidal mueve los sólidos acumulados hacia el extremo colector y luego es descargado.

La centrifuga tipo canasta opera con procesos batch. El lodo se introduce en el cilindro vertical de la centrifuga acumulándose contra sus paredes. Cuando el cilindro colmo su capacidad se detiene el equipo y mediante un raspador se retiran los sólidos. El proceso de centrifugación se emplea asiduamente en conjunto con la precipitación química.

#### ➤ Separación agua/aceite

Al igual que las unidades de ruptura química de emulsiones, los separadores agua/aceite se usan para remover aceites y grasas y otros contaminantes vinculados (detergentes y materia orgánica medida como DQO), del efluente generados en los establecimientos de lavado de prendas.

En este caso, en el que a diferencia del primero no hay agregados de productos químicos para facilitar la separación, se deja que el efluente permanezca sin movimiento durante unas 9 horas, permitiendo que las gotas de aceite más livianas asciendan y formen una capa oleosa en la superficie. En general, los rendimientos obtenidos con esta metodología, en lo concerniente a la remoción de surfactantes, son menores que en otras alternativas.

La metodología más usual para eliminación de esta fase es el control del nivel de líquido en la cámara donde es retenido el efluente.

#### ➤ Filtración

Durante el proceso de filtración, el efluente fluye a través de un medio filtrante reteniendo distintos tipos de contaminantes, dependiendo de las características del medio y de las sustancias retenidas. Los medios filtrantes son en general lechos de partículas granulares como arena, antracita, arcillas y carbón.

Los medios filtrante pueden remover contaminantes del efluente tanto por constituir un impedimento físico al paso de los mismos, como por la generación de procesos de adsorción química entre la sustancia a eliminar y el material que constituye el filtro.

En ambos casos, a medida que el efluente circula entre el medio filtrante, comienzan a ocuparse los sitios disponibles hasta producir un taponamiento del sistema. Por esta razón los medios de filtración deben ser periódicamente renovados a fin de lograr la desobstrucción del mismo.

#### ➤ Ozonización

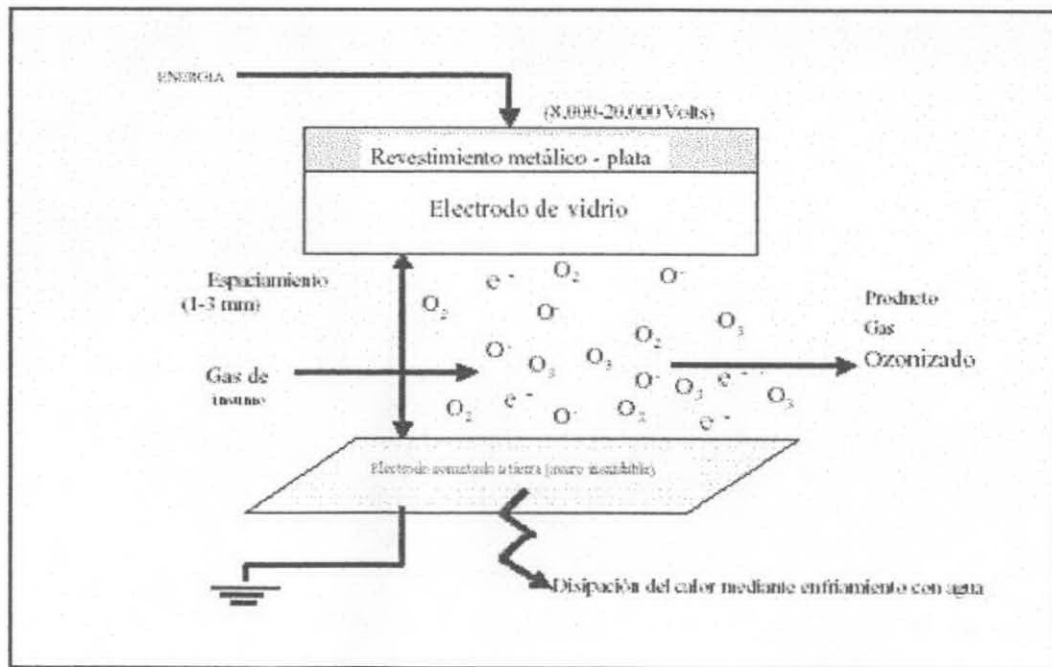
El proceso de ozonización implica dos componentes básicos que permiten su funcionamiento con efectividad: el generador y el contactor de ozono. Para la generación de ozono se emplea como gas de insumo aire u oxígeno puro, aplicándose un voltaje alto

(6.000-20.000 V) entre dos electrodos que produce un arco, donde una parte del  $O_2$  gaseoso se transforma en  $O_3$ . El ozono obtenido es muy inestable y vuelve a convertirse en  $O_2$  en minutos, razón por la cual el producto debe generarse in situ.

El rendimiento promedio del proceso transforma entre el 1 y 10 % del oxígeno que fluye por los electrodos. Cuando se utiliza aire como gas de insumo, la concentración de ozono obtenida varía entre el 1 y 4 %, en tanto que con oxígeno puro, este valor asciende a valores comprendidos entre el 4 y 12 % en peso.

La mayor parte de la energía involucrada en la generación del ozono, alrededor del 80 a 95 %, se convierte en calor, el que es generalmente eliminado mediante enfriamiento con agua.

En la siguiente figura N° 10 se muestra un diagrama del proceso de ozonización.

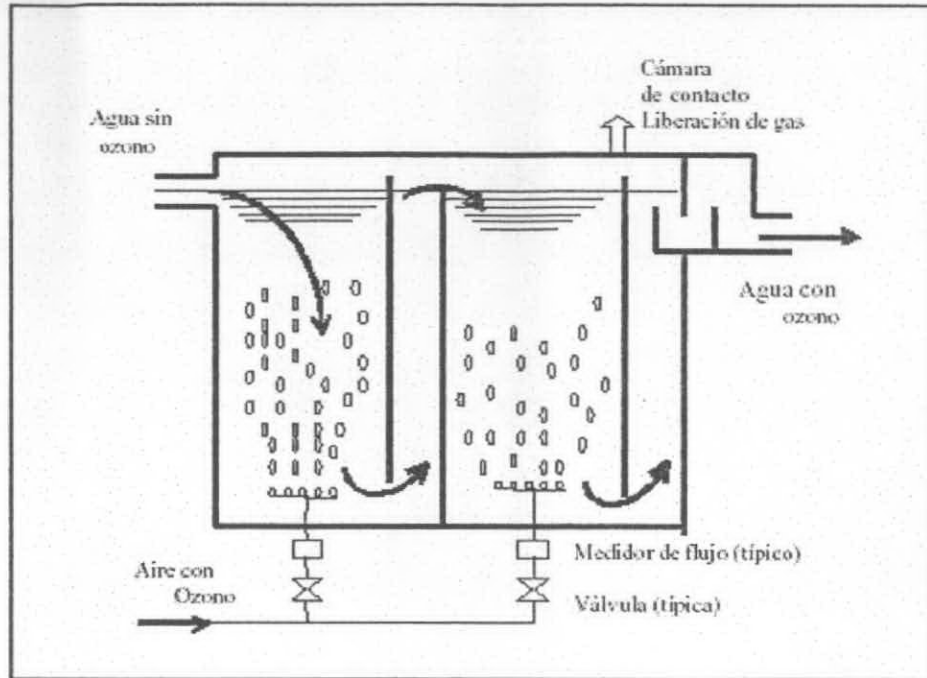


**Figura N° 10**  
**Proceso de ozonización**

El sistema de alimentación de aire extrae el polvo y la humedad del aire, mediante el uso de filtros, secadoras y compresores. En el caso de usar oxígeno puro las necesidades de equipamiento adicional son menores, requiriendo solamente un vaporizador.

Los contactores de ozono permiten el contacto entre el agente limpiante y el agua a tratar. Usualmente este contacto se hace a través de difusores de burbuja fina colocados en cámaras con deflectores. El número de cámaras, su geometría, los sistemas difusores y su operación varían de un tratamiento a otro y dependen de las características de cada caso.

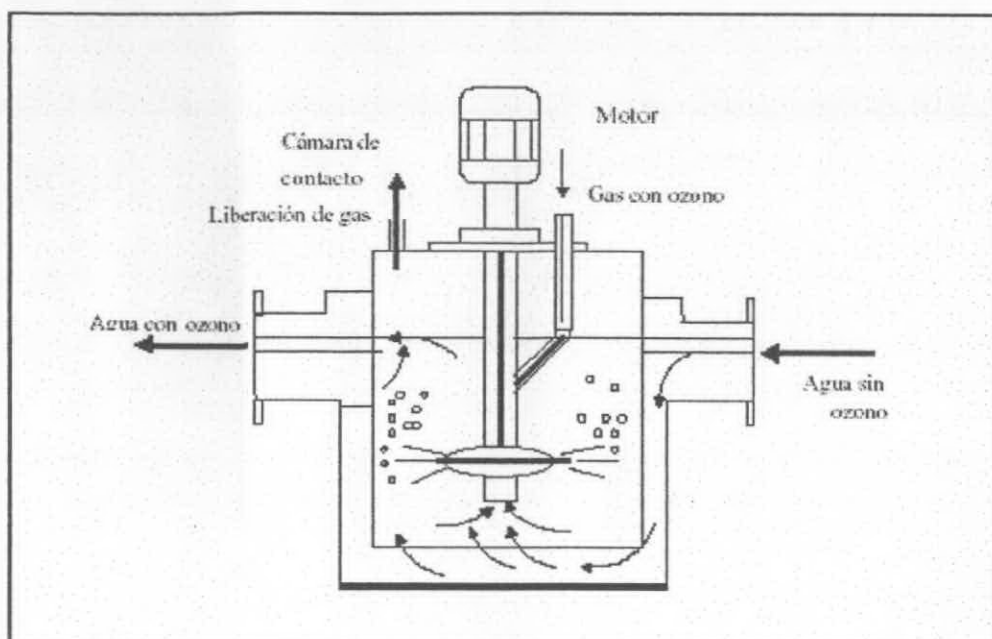
La figura N° 11 muestra un diseño característico para un contactor de cámara con deflectores.



**Figura N° 11**  
**Contactor de cámara de ozonización**

Un contactor de ozono típico generalmente tiene varios compartimientos en serie con difusores de burbuja en el fondo. En el primer compartimiento, el agua fluye hacia abajo en sentido contrario al de las burbujas, que ascienden, y en el segundo compartimiento el agua fluye hacia arriba. Estas cámaras adicionales garantizan el tiempo de contacto entre el ozono y el agua.

La figura N° 12 muestra una variante del dispositivo, que emplea un contactor con difusor de turbina que mezcla el ozono con el agua.



**Figura N° 12**  
**Contactador con difusor de turbina**

En general, el gas liberado por los contactores de ozono contiene una cantidad importante de oxidante, por lo que debe ser eliminado o dispersado en el ambiente

➤ **Irradiación con luz ultravioleta**

La utilización de luz UV para el tratamiento de aguas residuales, es una metodología que usualmente se aplica para la desinfección de aguas de abastecimiento con alta calidad bacteriológica. Sin embargo, y en función de ciertas experiencias desarrolladas en el ámbito de la región del Alto Valle de la Provincia de Río Negro con los vertidos generados en los galpones de empaque y otras industrias, se decidió incluir esta alternativa para evaluar su performance con los efluentes que se producen en los lavaderos de ropa.

El método constituye un proceso fisicoquímico, entendiendo que la radiación ultravioleta representa un agente físico, no obstante lo cual, el resultado de la aplicación de estos rayos es la transformación química de los productos sometidos a los efectos de la radiación.

La aplicación de luz ultravioleta para el tratamiento de efluentes implica la materialización de reacciones del tipo fotoquímicas, resultantes de la exposición de un sistema a la radiación.

El término radiación se refiere a las vibraciones electromagnéticas comprendidas entre las ondas de baja frecuencia (radio) hasta los rayos X y gama de alta frecuencia, que componen el denominado espectro electromagnético. No obstante, las radiaciones de interés para el trabajo, se hallan restringidas a las que se encuentran en la región visible del espectro y en el ultravioleta, es decir en el intervalo de longitudes de onda desde 800 a 200 nanómetros.

La producción de luz UV requiere de lámparas que poseen un tubo de cuarzo relleno con un gas inerte, como argón, y pequeñas cantidades de mercurio. Para el control de la potencia de las lámparas de UV se emplean balastos. La radiación es emitida por un flujo de electrones que pasa a través de vapor de mercurio ionizado, produciendo energía en la frecuencia de la luz UV.

#### **I.1.5. Parámetros fisicoquímicos de los efluentes generados en los establecimientos del rubro.**

En este apartado se presentan los valores de aquellos parámetros fisicoquímicos considerados de interés para el trabajo, incluyendo los datos históricos más nuevos valores obtenidos de muestreos recientes enmarcados dentro del Plan de Tareas propuesto en el proyecto.

Al respecto es importante indicar que los resultados históricos informados, obtenidos a partir de la implementación del programa de inspecciones y muestreos desarrollado por el área de Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos de la Provincia de Río Negro (Co.Ca.P.R.Hi.), dependiente del Departamento Provincial de Aguas, representan los valores promedio de cada parámetro.

Por otra parte y en relación con las inspecciones efectuadas como parte del plan de tareas previsto en el proyecto, se informa que algunos de los establecimientos previstos se encuentran momentáneamente cerrados en razón de una baja en la actividad por causas estacionales. Asimismo de las muestras tomadas en las plantas depuradoras no se pudieron obtener resultados concluyentes por la presencia de sustancias interferentes que afectaron las determinaciones analíticas.

En la Tabla N° 6 se indican los resultados del muestreo realizado recientemente.

**Tabla N° 6. Parámetros fisicoquímicos, noviembre 2004.**

Establecimiento	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Fósforo (mgP/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Detergentes (mg LAS/L)
099 (entrada) (1)	8.1	306	0.1	31	0.8
099 (salida) (2)	8.1	300	0.1	10	0.8
144 (entrada)	10.6	908	0.7	325	27.2
144 (salida)	11.1	1188	0.7	345	22.0
145 (entrada)	8.6	309	0.1	129	6.7
145 (salida)	8.5	333	0.1	95	7.7
172 (entrada)	10.0	940	0.5	254	6.2
172 (salida)	10.0	627	0.9	177	5.5
470 (entrada)	9.9	1557	0.3	169	22.0
470 (salida)	9.6	1330	0.1	119	25.0
582 (salida) (3)	9.5	303	0.5	165	33.3

- (1) Se refiere al ingreso de efluente en el sistema de tratamiento
- (2) Se refiere a la salida del efluente del sistema de tratamiento
- (3) La muestra de entrada no pudo realizarse por sustancias interferentes

En la Tabla N° 7, se informan los datos históricos relevados de la documentación existente en dependencias de la Delegación Regional Andina del Departamento Provincial de Aguas.

**Tabla N° 7. Parámetros fisicoquímicos, datos históricos.**

Establecimiento	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Detergentes (mg LAS/L)
40	9	52	313	>10
56	8.3	178.1	876	9.0
99	8.2	83	292	5.0
109	8.0	131	490	>10
123	7.7	S/D	190	4.3
126	8.5	S/D	333	>10
129	8.0	S/D	200	>10
136	8.5	S/D	831	8.5
139	9.2	78	295	>10
141	S/D	S/D	S/D	S/D
144	9.3	S/D	436	>10
145	8.5	S/D	258	>10
147	8.0	S/D	426	>10
148	8.5	S/D	340	>10
149	8.5	S/D	96	>10
150	S/D	S/D	S/D	S/D



Establecimiento	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	Detergentes ( $\text{mg LAS}/\text{L}$ )
152	S/D	S/D	S/D	S/D
153	S/D	S/D	S/D	S/D
155	9.0	41	177	6.8
164	8.0	160	162	>10
172	8.0	72	189	1.2
173	9.0	S/D	54	>10
179	8.5	S/D	178	>10
181	8.0	S/D	150	>10
183	9.0	S/D	285	4.7
189	S/D	S/D	S/D	S/D
197	9.0	S/D	305	>10
225	8.1	48	424	>10
231	9	288	445	>10
257	S/D	S/D	S/D	S/D
270	8.5	S/D	379	>10
279	8.5	S/D	63	0.7
284	8.0	S/D	222	>10
300	7.0	19	189	>10
332	S/D	S/D	S/D	S/D
346	8.5	S/D	100	>10
420	S/D	S/D	S/D	S/D
455	8.0	S/D	271	7.6
470	9.0	S/D	658	>10
496	S/D	S/D	S/D	S/D
538	S/D	S/D	S/D	S/D
542	8.5	S/D	48	8.0
550	8.5	S/D	310	>10
575	8.5	S/D	530	>10
580	8.0	S/D	211	>10
582	9.0	S/D	278	>10
596	8.5	S/D	192	8.8
597	8.0	S/D	173	>10

#### I.1.6. Sustancias deterativas empleadas en el proceso

De la encuesta realizada en los establecimientos inspeccionados en ocasi3n del 3ltimo muestreo efectuado durante el mes de noviembre, surge que es poca la informaci3n que poseen las empresas vinculadas a las caracter3sticas de los productos deterativos por ellas empleadas.

En general se utilizan detergentes que se anuncian como biodegradables y de baja espuma, no pudiendo determinarse en esta instancia, la composici3n de tales productos. La mayor parte de los lavaderos emplean agentes de limpieza que son distribuidos a granel o en

envases de gran tamaño, los que usualmente presentan el nombre de fantasía y alguna otra mención a sus potencialidades, omitiendo toda descripción de la composición química de los mismos.

## **I.2. Reconocimientos visuales del área en estudio**

### **I.2.1. Inspección de establecimientos seleccionados**

De acuerdo a lo programado para la adquisición de datos actualizados sobre el comportamiento de algunos establecimientos tipo, se efectuaron varias inspecciones en tres clases de emprendimientos en los que se realizan trabajos de lavado de prendas.

En todos los casos se procedió a relevar las instalaciones existentes tomando muestras de los efluentes allí generados en dos estadios diferentes, sin tratamiento (entrada) y con tratamiento (salida). Por otra parte, no fue posible muestrear los distintos vertidos por etapa de lavado, por cuanto en general las empresas poseen varias máquinas de lavado funcionando en simultáneo aunque usualmente no sincronizadas, mezclándose los líquidos de lavado, enjuague y centrifugado de las diversas máquinas, en un único sistema de colección y transporte.

Respecto de los esquemas de proceso de los emprendimientos, se observan diferencias operativas entre los locales comerciales de lavado de prendas y los hoteles con lavadero de ropa. En este sentido, si bien hay ciertos mecanismos que son comunes a ambos, el trabajo a demanda en el primero de los casos constituye un componente que condiciona la organización de las tareas y el funcionamiento de los sistemas de lavado. Por su parte en los hoteles, es posible programar un esquema de trabajo, acorde a sus necesidades, que permita por ejemplo sincronizar el funcionamiento de los equipos de manera tal que los vertidos de cada etapa sean homogéneos, elemento éste que puede resultar importante a la hora de definir el tratamiento de los efluentes.

El esquema de proceso tipo implica una etapa de lavado, que puede implicar varios procesos consecutivos en caso de necesidad, una de enjuague y una de centrifugación. Es usual que la materia prima requerida para llevar a cabo estas etapas, sea almacenada en ambientes que aseguren su estabilidad en el tiempo (bajas temperaturas y humedad, protegidos de los rayos solares y preservados en sus envases originales). En lo concerniente a los residuos producidos por los sistemas de tratamiento, los mismos son removidos con una periodicidad que depende del grado de uso de la infraestructura instalada. El destino de tales desechos es el vertedero municipal.

En primer lugar se evaluaron lavaderos de ropa de locales que funcionan solamente como tales, indicándose que uno de ellos, el establecimiento N° 456 (según numeración definida por el D.P.A.) se encuentra cerrado. De esta manera fueron inspeccionados los establecimientos N° 099 y 582.

En ambos casos se observó la existencia de una cámara de intercepción de espumas y retención de sólidos, como sistema de tratamiento de efluentes, en tanto que el lavadero N° 099 incluye una cámara de aforo y muestreo, que permite determinar caudales instantáneos, y un caudalímetro totalizador.

Respecto de los hoteles con lavadero se presentan dos situaciones diferentes, por cuanto unos poseen plantas depuradoras de efluentes cloacales e industriales combinados y otras vuelcan sus vertidos industriales a la red cloacal luego de una etapa de tratamiento de los mismos. Dentro del primer grupo se encuentran los empadronados N° 122, 247 y 345, informándose que este último se encuentra momentáneamente cerrado por razones de estacionalidad en las actividades que desarrolla. Los lavaderos de los otros dos hoteles no poseen un sistema de tratamiento específico para los efluentes generados por esta actividad, siendo procesados en conjunto con el resto de los desechos cloacales en ellos producidos, así como tampoco caudalímetros instantáneos ni acumulativos, que permitan evaluar los volúmenes consumidos por la actividad.

En lo concerniente a los hoteles que no poseen planta de tratamiento de efluentes combinados, se analizaron los empadronados N° 144, 145 y 172. Los tres emprendimientos poseen como sistema de depuración de sus efluentes, una cámara de intercepción de espumas y retención de sólidos, mientras que solamente dos de ellos (N° 144 y 145) pueden medir caudales instantáneos mediante una cámara de aforo y muestreo. Asimismo el establecimiento N° 144 posee un caudalímetro totalizador.

Respecto de los caudales de agua consumidos en el proceso y posteriormente tratados (en aquellos casos en los que existe sistema de tratamiento), se presentan los valores obtenidos a partir de la información que posee el D.P.A., producto de las inspecciones efectuadas y de las Declaraciones Juradas de los usuarios.

En la Tabla N° 8 se informan los caudales promedios de cada establecimiento.

**Tabla N° 8. Caudales promedio**

Establecimiento	Caudales (m <sup>3</sup> /día)	Establecimiento	Caudales (m <sup>3</sup> /día)
40	3	183	2
56	2.75	189	3.75
99	16.2	197	2
109	9.5	225	6.4
123	7	231	6
126	9	257	S/D
129	6	270	0.2
136	3	279	0.2
139	42	284	4.5
141	S/D	300	3

Establecimiento	Caudales (m <sup>3</sup> /día)	Establecimiento	Caudales (m <sup>3</sup> /día)
144	470 (1)	332	0.36
145	0.4	346	30
147	5	420	S/D
148	3	455	3
149	1.6	470	2.85
150	0.96	496	S/D
152	S/D	538	S/D
153	S/D	542	2.16
155	1	550	2.4
164	8	575	2.1
172	20	580	2
173	8	582	3
179	3	596	4
181	4	597	3

(1) Requiere confirmación

### I.2.2. Caracterización de los efluentes

Los resultados del muestreo efectuado se informaron en el apartado I.1.5., a través de la Tabla N° 7. Tal como se citó en párrafos precedentes, de las muestras tomadas en las plantas depuradoras no se pudieron obtener resultados concluyentes por la presencia de sustancias interferentes que afectaron las determinaciones analíticas.

### I.2.3. Análisis de la legislación vigente

El Objetivo de analizar la legislación vigente en diferentes jurisdicciones, tanto en el ámbito nacional como internacional, es el de efectuar un estudio comparativo entre los niveles de exigencias formulados actualmente en la Provincia de Río Negro con las otras normativas analizadas, a fin de determinar la pertinencia de los mismos.

En el marco de este análisis surge que respecto de los parámetros **pH** y **temperatura**, existe cierta uniformidad de criterios, estableciéndose un rango de valores comprendidos entre 5.5 y 10 para el primero y entre 45 y 65°C para el siguiente. La legislación más permisiva, como se verificara con otros parámetros, es la vigente en España, donde se observan los valores de temperatura más altos permitidos para vuelco en colectora cloacal.

En relación con los parámetros que miden el contenido de materia orgánica (en la forma de **D.B.O.<sub>5</sub>** y **D.Q.O.**), la normativa empleada en la provincia de Río Negro plantea un nivel de exigencia promedio, alternando entre los valores máximos y mínimos vigentes en las leyes de Capital Federal y Provincia de Buenos Aires. Así, el valor de la D.B.O.<sub>5</sub> asignado para vuelco en colectora cloacal es un poco superior al permitido en Capital

Federal y Buenos Aires, en tanto que el límite fijado para el parámetro DQO (vertido en colectora cloacal) en esta última jurisdicción es sensiblemente superior al rionegrino (700 mg/L versus 500 mg/L). Resulta llamativa la amplitud de criterios aplicados en las provincias españolas, con un rango que va desde 50 a 1000 mg/L para la D.B.O.<sub>5</sub> y desde 300 a 2000 mg/L para la D.Q.O. El valor respectivo para los Estados Unidos es de 300 mg/L.

El análisis de los límites para el contenido de **sólidos sedimentables** indica que en el ámbito de la República Argentina, las disposiciones previstas en la Ley 2952 son conservadoras respecto de sus análogas en Capital Federal y Buenos Aires. No fue posible establecer una comparación con los parámetros españoles, en razón que el criterio de determinación para el contenido de sólidos sedimentables es diferente.

Finalmente y referido al parámetro **detergentes**, la legislación vigente en la zona es sensiblemente más restrictiva que todas las normativas analizadas en el presente documento. El valor de 1 ó 2 mg/L estipulado como límite máximo para el vertido en los diferentes cuerpos receptores de la Provincia de Río Negro, resulta a priori, y considerando la calidad del agua de los cuerpos receptores de la región, particularmente apropiado. La norma, que representa una gran restricción para el parámetro analizado, es congruente con el programa de protección de los recursos hídricos implementados en la provincia, habida cuenta de los notables perjuicios que puede provocar el vertido de un efluente con contenidos de detergentes superiores a los fijados como máximos permitidos, tal como se menciona en el capítulo de análisis de implicancias ambientales.

#### **I.2.4. Materias primas empleadas**

Tal como se indicó en el apartado I.1.6. existe muy poca información sobre la composición química de los productos utilizados en cada etapa del proceso por los distintos establecimientos del rubro.

Lo relevado en el trabajo de campo más la información contenida en las Declaraciones Juradas de cada establecimiento, indica el uso de productos baja espuma, con porcentajes altos de biodegradabilidad (superiores al 80%) y en algunos casos, se informa si contienen o no compuestos de fósforo.

#### **I.3. Evaluación, clasificación y procesamiento de la información recopilada**

En este apartado se presenta un resumen referido a las características tanto de los vertidos producidos por los establecimientos, como de las condiciones promedio de funcionamiento de los mismos. Los resultados obtenidos al respecto, son producto del relevamiento efectuado de la información histórica existente en el D.P.A. así como también, de las inspecciones y visitas a los establecimientos efectuadas recientemente.

En referencia a la composición típica de los efluentes generados en los lavaderos, se observa una tendencia muy definida respecto del contenido de sustancias surfactantes (detergentes), que indica, independientemente del tamaño y capacidad operativa de los establecimientos, valores superiores a los 10 mg/L para estos compuestos. El tipo de cuantificación efectuada no permite determinar cuan superiores a 10 mg/L son las concentraciones registradas, no obstante lo cual, es evidente que el grado de cumplimiento con la normativa vigente es insatisfactorio.

Por su parte los valores de pH, además de presentar una marcada homogeneidad, están comprendidos dentro del rango permitido por la ley en vigencia. Se observan valores de pH alcalinos, producidos por la presencia de detergentes, que oscilan entre 8.0 y 9.5, en promedio.

A su vez el contenido de materia orgánica, medido como D.Q.O., muestra una gran dispersión de datos dentro de un rango que abarca desde aproximadamente 100 a 900 mg O<sub>2</sub>/L. No se pudo establecer una correlación entre la concentración de D.Q.O. y el contenido de detergentes.

Finalmente se obtuvieron pocos datos de conductividad del efluente, no obstante lo cual puede inferirse que los registros existentes indican valores bajos de este parámetro probablemente consecuencia de las características del agua de la región, con un también bajo contenido salino.

La cuantificación de los caudales, principalmente teniendo en cuenta la información declarada por los usuarios, indica una variedad importante de registros, acorde con las distintas capacidades de proceso instaladas y con la tasa de empleo de las mismas. Para un establecimiento promedio se puede definir un caudal diario del orden de los 5 m<sup>3</sup>/día, en tanto que los lavaderos de mayor tamaño registran consumos de agua entre 15 y 40 m<sup>3</sup>/día. Considerando que la concentración promedio de detergentes es > 10 mg/L, la cantidad diaria de producto vertido para un emprendimiento tipo es > 50 gr/día.

En otro orden de cosas, la evaluación de las normativas aplicadas en los diferentes ámbitos analizados en este documento, indica que la Ley 2952 de la Provincia de Río Negro y su disposición reglamentaria, Res. 378/92, conforman un marco legal con altos niveles de exigencia para la autorización de vertidos industriales (ver punto I.2.3.).

Los valores límites fijados en esa legislación constituyen un reaseguro respecto de la preservación de los recursos hídricos provinciales, hecho que se refuerza mediante un análisis continuo sobre la calidad de agua de los cuerpos receptores y la modificación de las exigencias de tratamiento a los distintos concesionarios de servicios de saneamiento, en función de los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de los cursos de agua receptores del vertido de los efluentes.

Es importante destacar que la definición de estándares de calidad tan exigentes implica un esfuerzo importante para los generadores de efluentes, los que deben modificar sus pautas de tratamiento a fin de lograr el cumplimiento de lo exigido por ley.

Por lo expuesto y habida cuenta de las condiciones tróficas y sanitarias de la gran mayoría de los cuerpos receptores de la provincia, se considera que el nivel de exigencia para la autorización de vertidos es pertinente y acorde al concepto de preservación del entorno y desarrollo sustentable de la región.

#### **I.4. Informe del Estudio Preliminar. Conclusiones y Recomendaciones**

El informe preliminar abordó distintos aspectos de la problemática estudiada, los que pueden resumirse en tres conceptos generales.

- Análisis de la legislación vigente y su comparación con otras normativas aplicadas de alcance nacional, provincial e internacional.
- Tecnologías de tratamiento de efluentes generados por lavaderos de ropa
- Evaluación sobre las condiciones operativas históricas y actuales de los establecimientos sujetos al presente estudio

Respecto del primer punto, y habida cuenta de los resultados emergentes del estudio comparativo de las normativas, se podría aseverar que no son necesarias mayores indagaciones al respecto. Los límites fijados tanto para los parámetros que miden materia orgánica en el efluente como para el contenido de detergentes (componente central del presente estudio), son de hecho los más estrictos respecto tanto de su vertido en colectora cloacal como en cursos de agua.

En lo concerniente a las distintas alternativas tecnológicas para la depuración de los efluentes, las metodologías propuestas en el programa de trabajo (precipitación química, filtración, ozonización e irradiación con luz UV), se erigen a priori como las más factibles, considerando las dificultades técnicas existentes para la implementación de las demás posibilidades. No obstante, fue importante tomar conocimiento de cuales son los métodos empleados a nivel internacional para resolver el problema de eliminación de sustancias surfactantes de los vertidos industriales.

Por otra parte la técnica de sedimentación por gravedad, actualmente aplicada en la mayoría de los lavaderos, resulta a la luz de los resultados obtenidos, insuficiente para alcanzar los valores de vuelco permitidos en la provincia.

Por último y vinculado con las condiciones operativas de los establecimientos, se puede concluir que el tratamiento de los efluentes generados, no es un aspecto que en la generalidad de los casos sea atendido por los propios usuarios con la atención que los mismos requieren. Si bien es cierto que hay una importante cantidad de sistema de

depuración instalados, y que además estos sistemas no funcionan debidamente por causas inherentes a su diseño, respecto de la remoción de detergentes principalmente, la infraestructura existentes no es operada y mantenida adecuadamente en un número importante de casos. Así, es usual encontrar cámaras decantadoras con una gran cantidad de sólidos retenidos (lo cual disminuye su capacidad de tratamiento), pantallas separadoras de espuma con fisuras y otros indicios que denotan cierta desidia de parte de los responsables de mantenerlas en condiciones.

La eficiencia de los sistemas instalados podría optimizarse, aunque difícilmente se logren resultados acordes con las exigencias legales, si las pautas básicas de mantenimiento de los dispositivos fueran de implementación efectiva.

La información recabada en esta etapa preliminar permitió conformar un diagnóstico de la situación que pone de manifiesto la pertinencia del objetivo planteado en el proyecto. Los datos reunidos, principalmente en lo concerniente a la identificación y confirmación del problema a resolver y en los lineamientos generales referidos a las alternativas de tratamiento de los efluentes, constituyen la base sobre la cual se asentaron las siguientes etapas del trabajo.



## II. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA COMARCA ANDINA

En el ámbito de estudio del presente trabajo, la denominada Comarca Andina, se han identificado un número importante de establecimientos de lavado de prendas, particularmente concentrados en la ciudad de Bariloche.

Las actividades turísticas profusamente desarrolladas en esa ciudad, y en menor escala en la localidad de El Bolsón, conforman una demanda permanente para el servicio de lavandería, básicamente originada en los hoteles y hosterías del lugar.

De acuerdo al relevamiento efectuado, en Bariloche y El Bolsón, existen 52 lavaderos de ropa de diversa magnitud, la mayoría de los cuales cuentan con algún tipo de tratamiento para los efluentes en ellos generados.

Según los registros evaluados, el 58 % de los emprendimientos posee como instalaciones para la depuración de los desechos una cámara de decantación y separación de espumas, seguida de un aforador que permite la constatación de caudales instantáneos, en tanto que solo el 15% tiene instalados caudalímetros para registrar los caudales acumulados. En un solo caso se ha dispuesto la colocación de filtros industriales para pelusas y estopas, como tratamiento previo a la decantación y desbaste. El 17% de las empresas cuenta con una cámara de interceptación de espumas y decantación, pero no cuentan con aforadores. A su vez, el 21% del total no posee ningún tipo de sistema para el tratamiento de sus efluentes.

En la mayoría de los establecimientos (el 85%) el cuerpo receptor de los vertidos producidos en los lavaderos, es la colectora cloacal de la ciudad. Por su parte, el 15% restante dispone sus vertidos en el suelo.

En cuanto a los valores de los parámetros de calidad fisicoquímica en el efluente final, luego del tratamiento, se observa que independientemente de las instalaciones existentes, los valores de algunos parámetros (particularmente detergentes y DQO) superan los límites máximos estipulados por la normativa vigente en la provincia (ver Tabla N° 6 y 7, I.1.5.).

Respecto de los caudales de agua consumidos, la existencia de establecimientos de diverso tamaño, conforman un escenario con una dispersión de consumos significativa. Por otra parte, no son muchos las empresas que tienen instalados caudalímetros, razón por la cual, los datos existentes no son suficientemente completos para efectuar un diagnóstico acabado de la situación. No obstante, y haciendo uso de la información que forma parte de la declaración jurada realizada por cada local antes de su habilitación, fue posible establecer, haciendo las salvedades del caso, un consumo de agua promedio (ver Tabla N° 8, I.2.1.)

Respecto de las materias primas empleadas como agentes de limpieza, es poca la información que poseen las empresas vinculada a las características de los productos detergivos por ellas empleadas. En general se utilizan detergentes que se anuncian como biodegradables y de baja espuma, no pudiendo determinarse en esta instancia, la composición de tales productos. La mayor parte de los lavaderos emplean agentes de limpieza que son distribuidos a granel o en envases de gran tamaño, los que usualmente presentan el nombre de fantasía y alguna otra mención a sus potencialidades, omitiendo toda descripción de la composición química de los mismos.

### III. INVESTIGACIONES BÁSICAS

En términos generales, se entiende por investigaciones básicas a las desarrolladas en escala de laboratorio sobre muestras representativas, en condiciones de ambiente controladas y con una concepción de diseño tal que mediante un simple cambio de escala, los resultados obtenidos puedan reiterarse una vez aplicada la técnica en escala prototipo.

Para el desarrollo de estas actividades básicas se emplearon materiales de vidrio, equipamientos de uso cotidiano en laboratorios de investigación y equipos adquiridos específicamente para la realización de tales actividades (generador de ozono y equipo para fotocatalisis), así como también reactivos químicos e insumos generales en cantidades proporcionales al tamaño del ensayo realizado.

#### III.1. Ensayos de precipitación-decantación

##### III.1.1. Marco teórico

Los métodos utilizados en el tratamiento de las aguas residuales en los que las transformaciones buscadas ocurren mediante reacciones químicas, se denominan *procesos químicos unitarios*, usualmente implementados en combinación con operaciones físicas y en ocasiones biológicas. Para el caso en estudio, la precipitación química constituye un proceso químico unitario, en tanto que la decantación es la operación física necesaria para obtener mejores logros en lo concerniente a la remoción de sustancias contaminantes.

La precipitación química implica la adición de productos químicos a fin de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, facilitando su eliminación mediante la decantación y clarificación consecuente del efluente tratado. Bajo algunas circunstancias esta modificación sobre las propiedades de las soluciones es pequeña, logrando resultados merced a una coprecipitación del sustrato dentro de un precipitado voluminoso constituido por la sustancia agregada como coagulante, que produce un efecto de arrastre.

Los procesos químicos conjuntamente con operaciones físicas se han desarrollado para brindar un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, removiendo una importante cantidad de contaminantes, entre los que se encuentran las sustancias motivo del presente estudio (detergentes y fósforo, especialmente).

El uso de agentes de precipitación esta ampliamente difundido y su implementación como técnica de depuración es de larga data. Los productos más comúnmente empleados figuran en la Tabla N° 9.

**Tabla N° 9. Productos químicos empleados en precipitación química**

Producto químico	Fórmula molecular	Peso molecular
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	667
Cloruro férrico	$FeCl_3$	162.1
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$	400
Cal	$Ca(OH)_2$	74
Cloruro de calcio	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	147

En ocasiones los productos químicos agregados al agua residual reaccionan con sustancias presentes en el efluente, mientras que en otros casos deben ser agregadas para tal fin. Así por ejemplo, un adyuvante de precipitación muy utilizado es la cal, que reacciona con cationes y algunos aniones convirtiéndolos en formas insolubles. Asimismo, el pH afecta la cantidad de contaminante precipitado, requiriéndose en general valores altos de este parámetro (soluciones alcalinas) para incrementar el rendimiento del proceso.

Teniendo en cuenta ciertas características de las muestras que fueron tratadas, particularmente el pH y la alcalinidad de las mismas, no fue necesario en los ensayos efectuados, agregar aditivos o adyuvantes de precipitación para facilitar el funcionamiento de los agentes de precipitación química seleccionados.

A continuación se presentan las reacciones químicas que intervienen en los procesos de precipitación evaluados en esta etapa de investigaciones básicas. Los reactivos precipitantes utilizados fueron: a-) sulfato de aluminio; b-) cloruro férrico y c-) cloruro de calcio.

a-) Sulfato de aluminio: al añadir el producto en una solución que contiene alcalinidad, la reacción que tiene lugar es la siguiente:



El hidróxido de aluminio ( $Al(OH)_3$ ) es insoluble y forma un flóculo gelatinoso que sedimenta lentamente arrastrando consigo la materia suspendida.

b-) Cloruro férrico: las reacciones para este reactivo son las siguientes:



El hidróxido férrico ( $Fe(OH)_3$ ) forma un flóculo gelatinoso y voluminoso similar al del hidróxido de aluminio y produce similares consecuencias sobre el agua residual tratada.

c-) Cloruro de calcio: cuando se añade calcio en la forma de este reactivo, las razones de su capacidad clarificante se resumen en la siguiente ecuación química:



El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) actúa como coagulante, debiendo asegurarse la eliminación de sales ácidas y ácidos minerales, para lograr una correcta precipitación.

Por otra parte y teniendo en cuenta que el fósforo es un componente usual en las formulaciones de los detergentes, en la forma de fosfatos, su eliminación por precipitación química implica la remoción concomitante de detergentes.

El proceso de precipitación química de fosfatos más comúnmente utilizado, requiere de la adición de sales de iones de metálicos de valencias múltiples que forman precipitados pocos solubles con los fosfatos. Las sales de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+3}$  son las de uso más difundido.

Las reacciones químicas involucradas son las siguientes:



Dado a que el calcio reacciona en primer lugar con la alcalinidad del agua residual, se debe agregar en exceso para precipitar el fosfato en forma de hidroxilapatita.



En el proceso de precipitación química, el efluente es agitado durante un tiempo determinado a fin de permitir una buena mezcla entre el agua residual y los agentes de precipitación. A continuación el líquido es mantenido dentro de la unidad de tratamiento el tiempo necesario para permitir la decantación de los sólidos (operación física), descargando el agua así clarificada y eliminando los lodos acumulados en el fondo de la unidad para su disposición final.

### III.1.2. Materiales y métodos

La cuantificación de los diferentes parámetros analizados, detergentes, fósforo, Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), pH y conductividad, se efectuó empleando los siguientes reactivos químicos, equipos de laboratorio y métodos.

- Reactivos químicos
  - Detergentes: benceno, colorante cristal violeta
  - Fósforo: persulfato de amonio, tartrato de potasio y antimonio, molibdato de amonio, ácido sulfúrico, ácido ascórbico, fosfato diácido de potasio, fenolftaleína e hidróxido de sodio.
  
- Equipos de laboratorio
  - pH: Orion. Modelo 920A
  - Conductividad: Orion Modelo 150
  - D.Q.O.: Digestor Hach. COD Reactor
  - Detergentes, fósforo y D.Q.O.: Espectrofotómetro UV-Visible. Metrolab 1700
  
- Métodos de análisis
  - pH: Método electrométrico. (1989). 4500-H<sup>+</sup>. Valor de pH. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 Ed. (Ed. A.E. Greenberg, R.R. Trussell & L.S. Clesceri). pp 4-1 a 4-235. APHA, AWWA, WPCF, Ed. Díaz de Santos, Madrid, España.
  - Conductividad: Método electrométrico. (1989). 2510. Conductividad. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 Ed. (Ed. A.E. Greenberg, R.R. Trussell & L.S. Clesceri). pp 2-1 a 2-105. APHA, AWWA, WPCF, Ed. Díaz de Santos, Madrid, España
  - D.Q.O.: Oxidación a reflujo cerrado con Dicromato de Potasio y determinación colorimétrica (1989). 5220. Requerimiento Químico de Oxígeno. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 Ed. (Ed. A.E. Greenberg, R.R. Trussell & L.S. Clesceri). pp 5-1 a 5-94. APHA, AWWA, WPCF, Ed. Díaz de Santos, Madrid, España
  - Fósforo Total: Procedimiento de digestión con persulfato y coloración con ácido ascórbico (1989). 4500-P. Fósforo. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 Ed. (Ed. A.E. Greenberg, R.R. Trussell & L.S. Clesceri). pp 4-1 a 4-235. APHA, AWWA, WPCF, Ed. Díaz de Santos, Madrid, España.
  - Detergentes: Método con cristal violeta/benceno. Surfactans, Anionic., Photometric determination. Hach Water Analysis Handbook, 2<sup>nd</sup> Ed. 1992, Hach Company, Colorado, USA.

Los ensayos de precipitación se efectuaron utilizando los reactivos químicos, materiales y equipos que a continuación se enlistan.

- Reactivos
  - Sulfato de aluminio
  - Cloruro férrico
  - Cloruro de calcio

- Materiales de laboratorio
  - Probetas
  - Pipetas
  - Pro-pipetas
  - Vaso de precipitado
  - Buzo de agitación
  - Ampollas de decantación
  
- Equipamiento
  - Agitador magnético Precytec AE 28
  - Balanza analítica Mettler Toledo AB204

Las muestras de aguas residuales provenientes de diferentes establecimientos de lavado de prendas fueron, en cada ensayo, homogeneizadas y conservadas hasta el momento de su utilización.

En todos los ensayos se emplearon 200 ml del efluente sin tratamiento sobre los que se agregaron distintas cantidades de los agentes de precipitación seleccionados, agitando la mezcla durante unos 10 minutos en cada caso. Luego se mantuvo la solución en reposo durante lapsos de hasta 3 horas, extrayendo a intervalos de tiempo variado una porción de la misma para su posterior análisis.

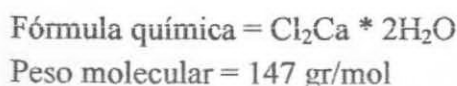
### III.1.3. Resultados y conclusiones preliminares

A los fines de determinar la cantidad de reactivo de precipitación agregado sobre el sustrato, fue necesario realizar una serie de cálculos estequiométricos teniendo en cuenta tanto el peso molecular de la sustancia a eliminar como de los agentes de precipitación.

En este sentido se asume que el peso molecular del detergente, a falta de mejor información sobre el contenido exacto de las formulaciones empleadas por los establecimientos analizados, es el del compuesto LAS (alquilbenceno sulfonato lineal). El valor normalmente aceptado para la sustancia en cuestión es de 320 gr/mol.

Asimismo y teniendo en cuenta que las reacciones químicas ocurren manteniendo una relación 1 a 1 de equivalentes químicos, se calculan los respectivos valores para el LAS y los reactivos de precipitación empleados en las diversas experiencias.

a-) Cloruro de calcio: el producto usualmente comercializado es dihidratado por lo que su fórmula química, peso molecular (P.M.) y peso equivalente son los siguientes:



Peso equivalente = P.M./2 = 73.5 gr/equiv.

b-) Cloruro férrico: en este caso el producto es hexahidratado siendo los valores correspondientes los siguientes:

Fórmula química =  $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

P.M. = 270.5 gr/mol

Peso equivalente = P.M./3 = 90.2 gr/equiv.

c-) Sulfato de aluminio: se empleó un producto heptahidratado, resultando lo datos que a continuación se enumeran:

Formula química =  $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

P.M. = 468 gr/mol

Peso equivalente = P.M./3 = 156 gr/equiv.

d-) Alquilbenceno sulfonato de sodio (LAS):

Fórmula química =  $\text{C}_{10}\text{H}_{21}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3\text{Na}$

P.M. = 320 gr/mol

Peso equivalente = P.M./1 = 320 gr/equiv.

Además de definir las cantidades necesarias de reactivos precipitantes para lograr una aceptable remoción de las sustancias contaminantes, se evaluó el tiempo requerido de decantación posterior al mezclado inicial de productos. Así, se efectuó un muestreo sobre las mezclas decantadas en intervalos de tiempo de 1, 2 y 3 horas. Las tablas N° 10 y 11 presentan los resultados logrados al respecto.

Es importante indicar que para cada determinación efectuada se realizaron dos y en ocasiones tres ensayos adicionales para corroborar el valor encontrado. Se informan solamente los datos promedio.



**Tabla N° 10. Evaluación de cantidades de reactivos requeridas**

Reactivo Precipitación	Determinación	Equivalentes agregados/ tiempo decantación	Equiv. Reactivo/ equiv. LAS	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje remoción Detergentes (%)	Fósforo total (mg P/L)	pH
Cl <sub>2</sub> Ca * 2H <sub>2</sub> O	1	0 / 0		18	0	1,76	9,9
	2	1,6 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	14,5	12,2	32,2	1,58	8,9
	3	1,6 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	14,5	11,5	36,1	1,54	9,0
	4	1,6 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	14,5	10	44,4	---	9,1
Cl <sub>2</sub> Ca * 2H <sub>2</sub> O	5	0/0		95	0	---	9,3
	6	29 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	10	61	35,8	---	8,9
	7	31 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	10,7	59,8	37	---	8,9
Cl <sub>3</sub> Fe * 6H <sub>2</sub> O	8	0 / 0		18	0	0,33	9
	9	9,31 * 10 <sup>-5</sup> / 2 h	8,3	11,6	35,6	0,19	8,2
	10	4,65 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	41,3	5	72,2	0,08	8,1
	11	9,31 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	83	12,5	30,6	0,32	8,1
Cl <sub>3</sub> Fe * 6H <sub>2</sub> O	12	0 / 0		95	0	1,6	9,3
	13	20 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	6,9	3,2	96,6	0,4	8,6
(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	14	0 / 0		18	0	0,33	9,3
	15	4 * 10 <sup>-6</sup> / 2 h	0,36	10,6	41,1	0,29	9,0
	16	2 * 10 <sup>-5</sup> / 2 h	1,8	9,8	45,6	0,25	8,9
	17	4 * 10 <sup>-5</sup> / 2 h	3,6	5,2	71,1	0,13	8,9
(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	18	0 / 0		95	0	1,59	9,4
	19	19 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	6,5	3,4	96,4	0,62	9,2

Del análisis de estos resultados surge que los reactivos con una mejor performance en lo que a eliminación de detergentes se refiere, fueron el cloruro férrico y el sulfato de aluminio, lográndose porcentajes de remoción superiores al 90% con la adición de estos productos en una relación 7 a 1 de equivalentes respecto de la cantidad de detergente (medida como LAS) presente en la muestra.

Los valores alcanzados en la determinación n° 11 no concuerdan con la tendencia, probablemente a causa de un error en la toma de muestra.

**Tabla N° 11. Evaluación del tiempo de decantación necesario post mezcla inicial**

Reactivo Precipitación	Determi- nación	Equivalentes agregados/ tiempo decantación	Equiv. Reactivo/ equiv. LAS	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje remoción Detergentes (%)	Fósforo total (mg P/L)	pH	C.E. (mS/cm)
(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	1	0 / 0		60	0	22,6	9,3	1,28
	2	4,4 * 10 <sup>-5</sup> / 1 h	0,23	53	11,7	---	9,0	1,27
	3	4,4 * 10 <sup>-5</sup> / 2 h	0,23	62	-3,3	22,1	8,9	1,28
	4							
			4,4 * 10 <sup>-5</sup> / 3 h	0,23	62	-3,3	---	9,0
(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	5	0 / 0		95	0	---	9,3	---
	6	19 * 10 <sup>-4</sup> / 1 h	6,5	5,7	94	---	9,1	---
	7	19 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	6,5	3,4	96,4	---	9,0	---
	8							
		19 * 10 <sup>-4</sup> / 3 h	6,5	3,4	96,4	---	9,0	---
Cl <sub>2</sub> Ca * 2H <sub>2</sub> O	9	0 / 0		60	0,0	22,6	9,3	1,28
	10	1,6 * 10 <sup>-4</sup> / 1 h	4,3	49	18,3	---	9,1	1,28
	11	1,7 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	4,4	58	3,3	20,6	9,0	1,28
	12							
		1,6 * 10 <sup>-4</sup> / 3 h	4,3	62	-3,3	---	9,0	1,26
Cl <sub>3</sub> Fe * 6H <sub>2</sub> O	13	0 / 0		60	0	22,6	9,3	1,28
	14	4,7 * 10 <sup>-4</sup> / 1 h	12,5	45	25,0	---	---	1,26
	15	4,7 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	12,5	47	21,7	21,4	8	1,35
	16							
		4,7 * 10 <sup>-4</sup> / 3 h	12,5	53	11,7	---	---	1,29
Cl <sub>3</sub> Fe * 6H <sub>2</sub> O	17	0 / 0		95	0	---	9,4	---
	18	20 * 10 <sup>-4</sup> / 1 h	6,9	4,0	95,8	---	8,8	---
	19	20 * 10 <sup>-4</sup> / 2 h	6,9	3,2	96,6	---	8,6	---
	20							
		20 * 10 <sup>-4</sup> / 3 h	6,9	3,0	96,8	---	8,6	---

Se observa que la extensión del tiempo de decantación posterior al mezclado inicial entre la muestra y los agentes de precipitación, un vez transcurrido al menos una hora de sedimentación, no produce una mejoría significativa en los porcentajes de remoción de contaminantes.

Los valores obtenidos en las determinaciones numeradas desde 13 a 16, correspondientes a ensayos con cloruro férrico, muestran porcentajes de eliminación de

detergentes menores a los logrados en otras experiencias con similares condiciones y cantidades en las que los resultados son sensiblemente superiores.

### **III.2. Ensayos de filtración**

#### **III.2.1. Marco teórico**

Las operaciones de tratamiento de efluentes en las que los cambios, tanto de las propiedades como de las características del agua residual, se efectúan a través de la aplicación de fuerzas de tipo física, se denominan *operaciones físicas unitarias*.

La filtración es una de estas operaciones físicas, siendo actualmente empleada de manera generalizada para lograr una buena eliminación de sólidos en suspensión y para la remoción de compuestos insolubles de fósforo.

En términos generales, el proceso aplicado durante el desarrollo de esta etapa, es del tipo denominado filtración semicontinua. El método implica la circulación del agua residual a través de un lecho granular, siendo posible la adición conjunta de productos químicos. Dentro del estrato granular se produce la eliminación de los sólidos en suspensión contenidos en el efluente tratado, mediante procesos complejos en los que intervienen uno ó más mecanismos de separación que incluyen la interceptación, el tamizado, el impacto, la sedimentación y la adsorción (química y física).

El ciclo finaliza cuando comienza a incrementarse el contenido de sólidos en suspensión, o de la sustancia que se busca eliminar en el efluente, hasta alcanzar valores no aceptables, o bien cuando se produce una pérdida de carga significativa en la circulación del agua residual a través de lecho filtrante, indicio esto de una obstrucción al flujo. Una vez que se llega a esta situación se debe proceder al cambio del sustrato granular.

La alternativa seleccionada para el presente estudio fue la de filtración semicontinua, de flujo descendente y caudal variable, empleando como relleno del filtro arenas volcánicas.

Existen numerosas teorías que explican los mecanismos que operan durante el proceso de filtración en un medio granular, dentro de las cuales pueden mencionarse las siguientes:

a-) Retención: las partículas de mayor tamaño que los poros del manto filtrante son retenidas mecánicamente.

b-) Sedimentación: las partículas sedimentan sobre el relleno

c-) Impacto: algunas partículas no siguen las líneas de flujo y chocan con el material filtrante

d-) Adhesión: las partículas floculentas llegan a adherirse a la superficie del medio filtrante al pasar por él. Bajo determinadas circunstancias, una parte de la materia adherida

puede ser arrastrada por la fuerza del agua residual que fluye a través del filtro, pudiendo en ocasiones generar cierta turbidez en el efluente.

e-) Adsorción química: implica la formación de enlaces químicos entre las partículas y elementos del relleno. Las interacciones suelen ser del tipo unión ión-dipolo, dipolo-dipolo, intercambio iónico y otras.

f-) Adsorción física: predominan como mecanismos aquellos que involucran fuerzas de tipo físico como las electrostáticas, electrocinéticas y de Van der Waals.

g-) Floculación: las partículas mayores alcanzan a las menores formándose partículas más grandes aún, las que son eliminadas por alguno de los mecanismos más arriba descritos

h-) Crecimiento biológico: el desarrollo de un manto biológico sobre el relleno reduce la sección de flujo facilitando la eliminación de partículas por cualquiera de los mecanismos antes citados.

En lo concerniente al material seleccionado como relleno del filtro, se optó por arenas volcánicas en función de su conocida capacidad para retener fósforo, considerando que una gran parte de los detergentes utilizados por los establecimientos de lavado de prendas, están constituidas por fosfatos como cabeza polar de tales compuestos.

La denominación *suelos volcánicos* es usada para designar suelos formados a partir de material piroclástico proveniente de erupciones volcánicas, ampliamente extendidos en la región cordillerana. El color típico de estas arenas es en la gama del negro, dependiendo de la cantidad y tipo de materia orgánica presente. Asimismo la estructura de las arenas es de tipo granular, constituyendo un relleno de gran porosidad y buen drenaje.

Una de las características más relevantes de los suelos volcánicos, tal como se ha mencionado, es su alta capacidad de adsorción química de aniones, particularmente fosfatos, debido a una elevada concentración de compuestos de aluminio y hierro; de hecho la cantidad de fosfato adsorbido depende del contenido de estos dos elementos. La adsorción de fosfatos también depende del pH del sistema, observándose una disminución de la misma con el incremento en el valor de pH y determinándose que las máximas adsorciones se producen a un pH comprendido entre 3 y 4. Por otra parte, la adsorción se incrementa de manera lineal con la concentración de fosfatos en la solución en contacto con las arenas volcánicas (Shoji S., Nanzyo M. y Dahlgren R., 1993).

La adsorción química de fosfatos involucra intercambio de ligandos y reacciones de precipitación. Los ligandos usualmente intercambiados, a menudo coordinados con Al y Fe, son OH<sup>-</sup>, OH<sub>2</sub>, OSi(OH)<sub>3</sub><sup>-</sup> y RCOO<sup>-</sup>, entre otros.

La adsorción puede producir un aumento en el pH a causa de la liberación de oxhidrilos (OH<sup>-</sup>) por las reacciones de intercambio de ligandos con los fosfatos. Uno de los posibles mecanismos en que se produce esta liberación se ejemplifica en las siguientes ecuaciones químicas.



Por último, la presencia de iones de aluminio en la superficie del sólido, produce la precipitación de los fosfatos en una reacción similar a la analizada en el apartado III.1.1.

### III.2.2. Materiales y métodos

Para la realización de los ensayos de filtración de las aguas residuales, se utilizaron los siguientes materiales:

- Materiales
  - Columna de cromatografía
  - Probetas
  - Vasos de precipitado
  - Cronómetro

En cada caso se armó una columna con un relleno de arena volcánica sostenida sobre un tapón permeable en el extremo inferior de la misma, colocando sobre la superficie superior del material filtrante, un distribuidor de flujo de manera tal que las líneas de escurrimiento del efluente tuvieran una distribución homogénea en todo el seno del relleno. El volumen de suelo volcánico para estos ensayos fue de aproximadamente unos 200 ml.

La velocidad de escurrimiento se definió en 10 ml/min, considerando que la misma constituye un valor de flujo equivalente al producido en un establecimiento tipo, extrayéndose muestras filtradas en distintos intervalos de tiempo.

### III.2.3. Resultados y conclusiones preliminares

Los resultados logrados con la implementación de la tecnología de filtración se indican en la Tabla N° 12.

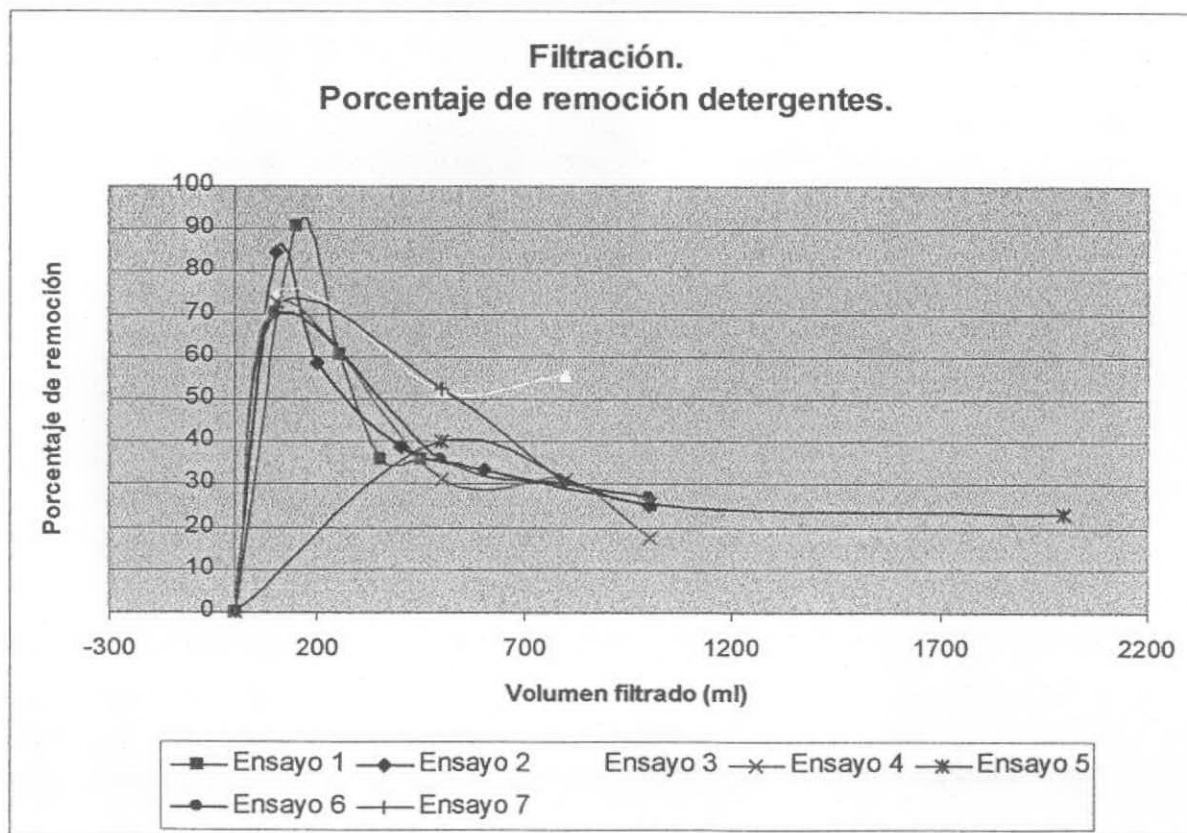
**Tabla N° 12. Resultados ensayos de filtración**

Ensayo	Volumen filtrado (ml)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje remoción detergentes (%)	Fósforo total (mg P/L)	D.Q.O (mg O2/L)	pH	CE (mS/cm)	Observaciones
1	0	25	0	1,76	162	9,9	2,15	
	150	2,4	90,4	—	—	7,1	0,51	
	250	9,9	60,4	—	—	7,2	1,68	
	350	16	36	—	—	7,3	1,9	
	450	16	36	0,71	132	7,3	1,98	
2	0	18	0			9		
	100	2,8	84,4			7		
	200	7,5	58,3			7,2		
	400	11	38,9			7,2		
	600	12	33,3			7,4		
1000	13,5	25			7,5			
3	0	18	0	0,33	—	9,3		Se usó el mismo relleno que en ensayo N° 2
	100	4,6	74,4	—	—	7,4		
	500	8,7	51,7	—	—	7,4		
	800	8	55,6	0,12	—	7,4		
4	0	29	0	16,4	152	9	0,76	
	100	8	72,4	1,8	64	7,8	0,34	
	500	20	31,0	—	—	7,8	—	
	800	20	31,0	—	—	7,9	—	
1000	24	17,2	5,1	135	8	0,69		
5	0	9,5	0,0	—	—	7,8	0,66	Se usó el mismo relleno que en ensayo N° 4
	500	5,7	40,0	—	—	7,6	0,66	
	1000	7,1	25,3	—	—	7,6	0,66	
	2000	7,3	23,2	—	—	7,6	0,66	
6	0	15	0	—	—	9,1	—	
	100	4,5	70,0	—	—	7	—	
	500	9,6	36,0	—	—	7,1	—	
	800	10,5	30,0	—	—	7,3	—	
	1000	11	26,7	—	—	7,3	—	

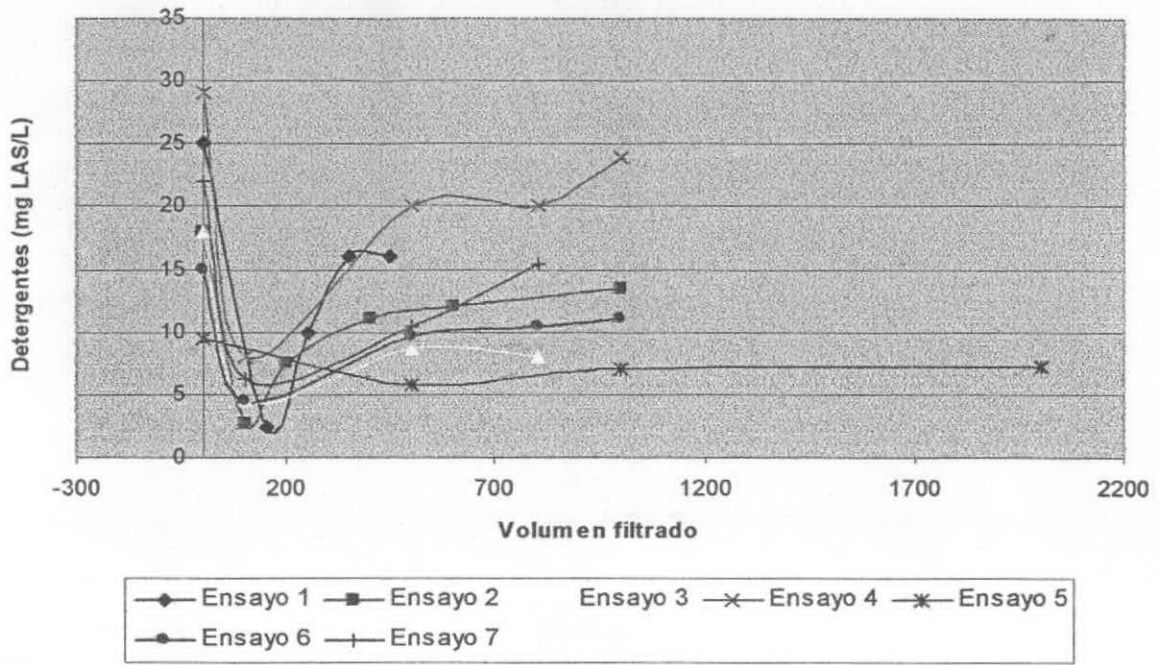
	0	22	0	14.8	175	8,8	—
7	100	6,2	71,8	—	—	7,2	—
	500	10,5	52,3	—	—	7,4	—
	800	15,4	30,0	7.2	147	7,4	—

En los gráficos N° 1 y 2 que se presentan a continuación, se observa claramente la tendencia que tuvieron los diferentes ensayos de filtración efectuados, con valores porcentuales de eliminación de contaminantes altos al comienzo del proceso y una disminución paulatina hasta alcanzar un equilibrio que se mantiene estable en guarismos cercanos al 30% de reducción.

**Graficos N° 1 y 2. Ensayos de filtración. Remoción de contaminantes**



**Filtración.  
Concentración de detergentes**





### III.3. Ensayos de ozonización

#### III.3.1. Marco teórico

El ozono ha sido empleado desde principios del pasado siglo XX principalmente en la desinfección de agua potable, diversificándose su uso desde entonces en materia de tratamiento de aguas residuales.

Se trata de una forma alotrópica del oxígeno en la que tres átomos de este elemento se combinan para generar la molécula de ozono. Es considerado uno de los oxidantes más enérgicos, posee un potencial electroquímico de 2,07eV (el gas cloro tiene un P.e. de 1,36eV), oxidando fácilmente estructuras orgánicas de diversa índole.

El método de generación de ozono más eficaz conocido actualmente, es a través de descargas eléctricas. El ozono se genera a partir del aire, o de oxígeno puro, al hacerlo circular a través de una corriente de alto voltaje (6.000 – 20.000 V) entre dos electrodos separados por un espacio muy pequeño. La corona de alta energía o arco voltaico producido permite disociar una molécula de oxígeno las que al unirse a otras dos producen una molécula de ozono.

Un condicionante importante del proceso es que el ozono se descompone muy rápidamente a oxígeno, razón por la cual el producto debe generarse in situ. Este hecho resultó durante mucho tiempo un serio problema operativo, que ha quedado definitivamente resuelto con el advenimiento de nuevas tecnologías.

El rendimiento promedio del proceso transforma entre el 1 y 10 % del oxígeno que fluye por los electrodos. Cuando se utiliza aire como gas de insumo, la concentración de ozono obtenida varía entre el 1 y 4 %, en tanto que con oxígeno puro, este valor asciende a valores comprendidos entre el 4 y 12 % en peso.

Las propiedades químicas del ozono se explican mediante sus reacciones de descomposición:



Los radicales libres que se generan,  $\text{HO}_2$  y  $\text{HO}$ , tienen gran poder oxidante y son los responsables de la acción del ozono sobre las sustancias que se prevé eliminar.

### III.3.2. Materiales y métodos

La etapa en la que se realizaron las pruebas de ozonización de las aguas residuales, se desarrolló mediante la utilización de un equipo generador de ozono adquirido a tal efecto. En este sentido, se consultaron a numerosas empresas proveedoras de estos insumos, definiéndose la compra de un equipo recomendado por la Asociación Argentina del Ozono, Centro Argentino de Investigaciones del Ozono.

➤ **Materiales y equipos**

- Equipo generador de ozono Modelo Adelo
- Probetas
- Vaso de precipitado
- Recipientes varios

➤ **Métodos**

- Generación de ozono: tal como se ha mencionado en párrafos precedentes, el ozono se genera mediante el flujo de aire a través de una descarga eléctrica de alto voltaje, que transforma el oxígeno del fluido en ozono.

La difusión del producto en el seno del líquido a tratar, se efectúa mediante un sistema que produce burbujas pequeñas que ascienden desde el fondo del recipiente utilizado en la experiencia. Con la producción de burbujas de tamaño reducido, se busca lograr la mayor superficie de contacto posible entre el agente oxidante y su entorno.

El generador está provisto de dos bombas que funcionan en paralelo y de manera alternada, facilitando un funcionamiento ininterrumpido durante al menos ocho horas diarias. El equipo posee además, un sistema de refrigeración que absorbe la energía liberada en el proceso en forma de calor.

### III 3.3. Resultados y conclusiones preliminares

Los resultados obtenidos en las experiencias de ozonización efectuadas en laboratorio se presentan en la Tabla N° 13.

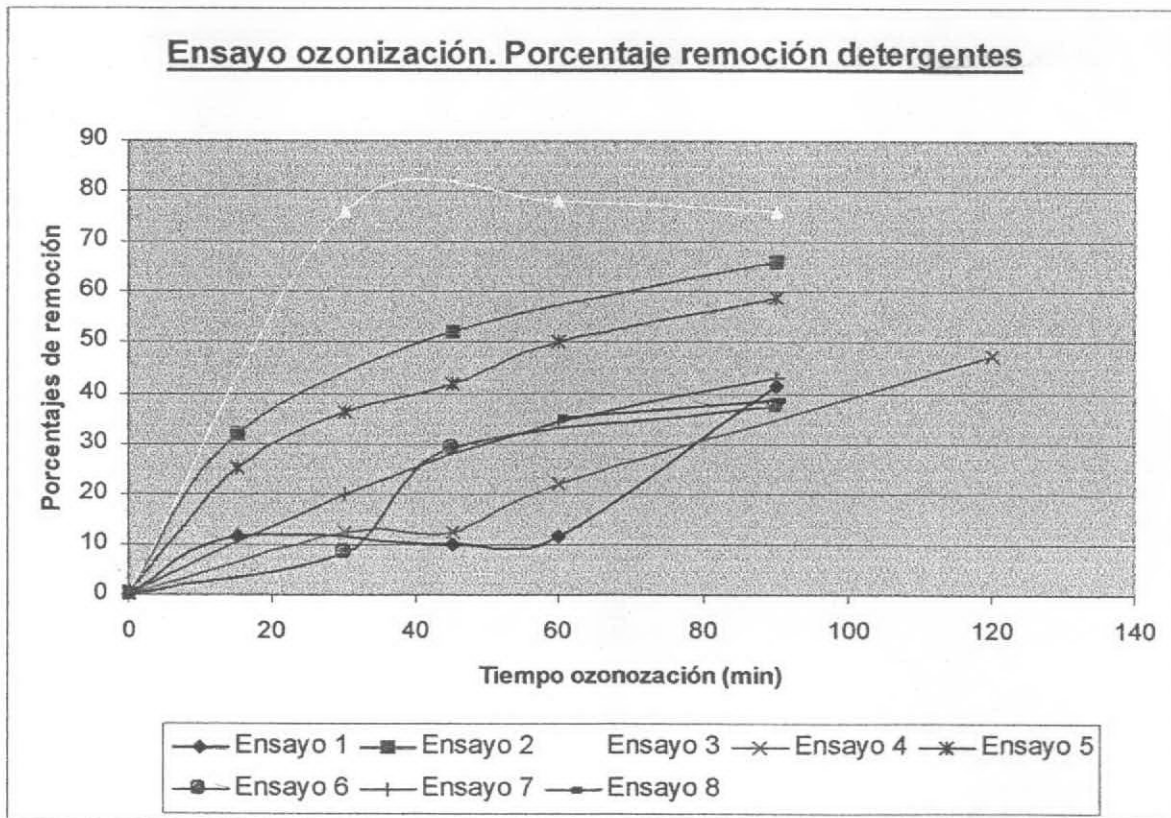
**Tabla N° 13. Resultados ensayos ozonización**

Ensayo	Tiempo de Ozonización (minutos)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje remoción Detergentes (%)	Fósforo total (mg P/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	pH	CE (mS/cm)	Observaciones
1	0	60	0	22,6	266	9,3	1,28	Sobre una muestra de 1500 ml
	15	53	11,7	21,6	231	9,1	1,21	
	45	54	10,0					
	60	53	11,7					
	90	31	41,5					
2	0	4,4	0	0,21	60	8,2	0,34	Sobre una muestra de 4000 ml
	15	3	31,8			7,6	0,34	
	45	2,1	52,3			7,5	0,34	
	90	1,5	65,9	0,2	50	7,8	0,34	
3	0	12,2	0	0,15		7,3	0,67	Sobre una muestra de 4000 ml
	30	2,9	76,2	0,15		7,4	0,68	
	60	2,7	77,9	0,14		7,4	0,67	
	90	2,9	76,2	0,13		7,4	0,67	
4	0	16	0	0,46	332	9	2,15	Sobre una muestra de 4000 ml
	30	14	12,5	0,45	333	8,8	2,16	
	45	14	12,5	0,44	319	8,8	2,16	
	60	12,5	21,9	0,44	310	8,7	2,16	
	120	8,4	47,5	0,43	308	8,6	2,16	
5	0	16	0,0			7,8	0,66	Previamente filtrado Sobre una muestra de 4000 ml
	15	12	25,0			7,6	0,66	
	30	10,2	36,3			7,6	0,66	
	45	9,3	41,9			7,6	0,66	
	60	8	50,0					
6	0	2,4	0	0,5	53	7,4	0,28	Sobre una muestra de 4000 ml
	30	2,2	8,3	0,5		7,4	0,29	
	45	1,7	29,2	0,48	44	7,5	0,28	
	90	1,5	37,5	0,5	39	7,4	0,28	
7	0	35	0			9,2	0,78	Sobre una muestra de 4000 ml
	30	28	20,0			9,1	0,78	
	60	23	34,3			9,1	0,78	
	90	20	42,9			8,8	0,78	

Ensayo	Tiempo de Ozonización	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje remoción	Fósforo total (mg P/L)	DQO (mg O2/L)	pH	CE (mS/cm)	Observaciones
8	0	13,2	0	—	—	9.3	—	Previamente filtrado Sobre una muestra de 10000 ml
	60	8,6	34,8	—	—	9.3	—	
	90	8,1	38,6	—	—	9.2	—	

En el gráfico N° 3 se observa el comportamiento promedio de los ensayos efectuados, en los que se presenta la evolución del proceso de ozonización, evaluada como porcentaje de remoción de detergentes, en función del tiempo de aplicación del oxidante.

**Gráfico N° 3. Ensayos de ozonización. Resultados en remoción de detergentes**



### III.4. Ensayos de descomposición con luz Ultravioleta (UV)

Conforme lo solicitado por el CFI a instancias del DPA, se desarrollaron una serie de ensayos, en escala laboratorio y sobre muestras representativas, a fin de evaluar la eficiencia en remoción de detergentes contenidos en efluentes de lavaderos, por medio de la aplicación de luz ultravioleta sobre el sustrato.

Cabe recordar que los trabajos de investigación básica, es decir aquellos efectuados en escala de laboratorio, deberán producir resultados tales que por medio de un simple cambio de escala, estos resultados obtenidos puedan verificarse con la aplicación de la técnica en escala real.

Para el desarrollo de estas actividades básicas se emplearon insumos de uso cotidiano en laboratorios de investigación y control de calidad (básicamente materiales de vidrio, balanza analítica, espectrofotómetro UV y reactivos químicos) y una planta piloto de tratamiento fotocatalítico provista por el DPA.

#### III.4.1. Marco teórico

La utilización de luz UV para el tratamiento de aguas residuales, tiene un antecedente inmediato en la desinfección de aguas de abastecimiento basada en la aplicación de rayos UV para obtener aguas de alta calidad bacteriológica.

El método, si bien es conocido desde principios del siglo pasado, ha sido usado de manera esporádica hasta hace algunos años, en los que la definición de nuevos estándares de calidad referidos a la presencia de subproductos de la cloración del agua (especialmente cloramidas), obligaron a adoptar nuevas tecnologías más limpias y con menores efectos sobre el ambiente y la salud.

En el campo de la desinfección de aguas residuales, el uso de esta tecnología tiene una difusión en los países emergentes aún menor, habida cuenta de los importantes costos asociados no solamente a la inversión inicial requerida sino también a los gastos vinculados con la operación del sistema.

Si bien no resulta demasiado relevante para los objetivos del presente documento, es interesante indicar que la utilización de luz UV para el tratamiento de efluentes, constituye un *proceso* que podría definirse como *fisicoquímico*. En efecto, la radiación ultravioleta representa, más bien, un agente físico que químico, no obstante lo cual, no existen dudas que el resultado de la aplicación de estos rayos es la transformación química de los productos sometidos a los efectos de la radiación.

Al respecto se recuerda que aquellos métodos en los que las transformaciones buscadas ocurren mediante reacciones químicas, se denominan *procesos químicos unitarios*.

Por su parte, las operaciones involucradas en tratamiento de efluentes en las que los cambios se efectúan a través de la aplicación de fuerzas de tipo física, se denominan *operaciones físicas unitarias*.

La aplicación de luz ultravioleta para el tratamiento de efluentes implica la materialización de reacciones del tipo *fotoquímicas*, resultantes de la exposición de un sistema a la radiación. En este punto, se considera importante abundar en algunos detalles teóricos elementales sobre el campo de la fotoquímica.

En este sentido se puede aseverar que la fotoquímica comprende el estudio de las reacciones químicas en las que participan moléculas y fotones, entendiendo a este último como un cuanto de energía electromagnética, que en función de la dualidad onda-partícula puede ser también considerado como una partícula.

El término radiación, por su parte, se refiere a las vibraciones electromagnéticas comprendidas entre las ondas de baja frecuencia (radio) hasta los rayos X y gama de alta frecuencia, que componen el denominado espectro electromagnético. Sin embargo, las radiaciones interesantes desde el punto de vista fotoquímico, se hallan restringidas, en general, a las que se encuentran en la región visible del espectro y en el ultravioleta, es decir en el intervalo de longitudes de onda desde 800 a 200 nanómetros.

Cuando se produce la reacción entre un fotón y una molécula, se genera un estado excitado de esta última, que puede desencadenar diferentes procesos, como se ejemplifica a continuación.



Donde:  $M^*$  representa el estado excitado

Algunas de las posibilidades de reacción de esta especie excitada se describen someramente en los siguientes párrafos:

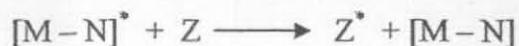
a-) Disociación: la especie en estado excitado se fragmenta en un par de radicales ó de moléculas, en un proceso también conocido con el nombre de fotólisis.



b-) Reacción directa: implica la reacción química de la especie excitada con otra molécula, produciendo una nueva molécula.



c-) Transferencia de energía por colisión: se transfiere la energía desde la especie excitada a otra especie en estado basal (no excitado), la que puede transformarse por estos u otros mecanismos en otros subproductos.



d-) Luminiscencia: la especie en estado excitado puede emitir luz en un proceso llamado luminiscencia. Si el proceso es inmediato entonces se lo denomina fluorescencia, en tanto que si demora un tiempo en manifestarse, se lo conoce como fosforescencia.



e) Quenching: la especie en estado excitado puede ser quencheada, proceso en el cual la energía es convertida en energía vibracional (calor). Puede ocurrir en soluciones.



En particular y en lo concerniente a los objetivos del presente trabajo, se indica que la luz ultravioleta menor de 320 nm, posee suficiente energía para romper uniones químicas por absorción de luz, siendo el rango que mejores resultados produce el comprendido entre los 245 y 285 nm. En efecto, el dispositivo empleado en las experiencias de laboratorio irradia luz UV de 254 nm de longitud de onda.

#### **III.4.1.1. Generación y consideraciones de diseño**

##### **□ Generación**

La producción de luz UV requiere de lámparas que poseen un tubo de cuarzo relleno con un gas inerte, como argón, y pequeñas cantidades de mercurio. Para el control de la potencia de las lámparas de UV se emplean balastos.

La radiación es emitida por un flujo de electrones que pasa a través de vapor de mercurio ionizado, produciendo energía en la frecuencia de la luz UV. Existen en el mercado lámparas de baja y media presión, que presentan performances diferentes según los requerimientos del diseño. Así por ejemplo, las de baja presión emiten la máxima energía a una longitud de onda de aproximadamente 254 nm, en tanto que las de media presión lo hacen en un rango de longitudes que abarca desde 180 a 1370 nm.

La intensidad de los dispositivos de media presión es mucho mayor que las correspondientes a las de baja presión, lo cual implica que se requiere menor cantidad de lámparas de media para una misma dosis equivalente. No obstante, para sistemas pequeños se aconsejan elementos de baja presión aún en el caso en que la demanda implique la instalación de varios equipos.

Usualmente las lámparas de baja presión están provistas de una protección de cuarzo para separar el agua de la lámpara, dispositivo necesario para mantener la superficie de la lámpara operando a temperaturas cercanas al valor óptimo de 40°C.

A su vez los balastos, transformadores que controlan la potencia de las lámparas, deben operar a temperaturas debajo de 60°C para prevenir fallas. Existen en el mercado dos tipos de balastos usados comúnmente con lámparas UV, electrónicos y electromagnéticos. Los primeros operan a mayores frecuencias, lo que permite que las lámparas funcionen a menores temperaturas, con un gasto menor de energía, menor producción de calor y una mayor vida útil del equipo.

#### □ Consideraciones de diseño

En términos generales son dos los tipos de reactores empleados usualmente en tratamientos con UV, los de recipiente cerrado y los de canal abierto. El equipo utilizado para el desarrollo de las experiencias descritas en el presente documento, esta constituido por una celda cerrada por la que circula el líquido a depurar, dentro de la cual se encuentra la lámpara de UV.

Los principales aspectos a ser considerados en el diseño de un reactor del tipo celda cerrada son: dispersión y turbulencia del efluente, volumen efectivo de la celda, tiempo de residencia del líquido y caudales del vertido.

Un reactor UV ideal implica un flujo hidráulico del tipo *flujo pistón*, en el que todas las partículas de líquido que entran en el reactor permanecen en su interior durante idéntico tiempo. En un sistema ideal no hay dispersión, y la aproximación en escala real esta constituida por un tanque largo con una alta relación entre la longitud y el ancho del dispositivo. Además de estas características, el reactor UV ideal presenta un flujo que es turbulento radialmente en la dirección del flujo, para eliminar las eventuales zonas muertas. De esta forma se promueve la aplicación uniforme de la radiación UV.

La eficiencia del método de tratamiento puede verse afectada por varios factores, algunos de los cuales se describen someramente en los siguientes párrafos: formación de un film químico y/o biológico sobre la superficie de la lámpara; agregación de microorganismos; turbidez y diseños de reactor inapropiados.

a-) Film químico y/o biológico: la acumulación de sólidos sobre la superficie del dispositivo UV puede reducir la intensidad de luz aplicada y, en consecuencia, disminuir la eficiencia del tratamiento. Efluentes con altos contenidos de hierro, dureza y sustancias orgánicas, tienen una mayor tendencia a formar películas sobre las superficies, lo cual modifica gradualmente la intensidad aplicada.



A modo de ejemplo se citan concentraciones de algunos componentes, consideradas máximas para evitar los problemas más arriba descritos<sup>1</sup>.

- Hierro: mayor de 0,1 mg/L
- Dureza: mayor que 140 mg/L

Una amplia variedad de sustancias pueden disminuir la transmisión de UV, por ejemplo, ácidos húmicos (presentes en el suelo), compuestos fenólicos, metales y agentes colorantes, entre otros.

b-) Agregación de microorganismos y turbidez: de similar modo que las partículas que causan turbidez, la agregación de microorganismos puede afectar la eficiencia del método por dispersión de la luz irradiada y por un efecto pantalla de las partículas de mayor tamaño que interfieren la trayectoria del haz de luz.

c-) Diseño del reactor: la existencia de zonas muertas en las que el efluente no es alcanzado por la radiación, afectan la eficiencia del tratamiento. Del mismo modo, tiempos de residencia insuficientes asociados a una inapropiada relación entre el caudal procesado y el tamaño del reactor, producirán una disminución en los porcentajes de eliminación de contaminantes.

---

<sup>1</sup> DeMers and Renner, 1992

### III.4.2. Materiales y métodos

En la determinación de los tenores de detergentes, D.Q.O. y en la medición del pH, se emplearon los siguientes reactivos químicos, equipos de laboratorio y métodos.

- Reactivos químicos
  - Detergentes: benceno, colorante cristal violeta, buffer de sulfato pH 2,0 +/- 0,1.
- Equipos de laboratorio
  - pH: Orion. Modelo 920A
  - Detergentes: Espectrofotómetro UV-Visible. Metrolab 1700
  - D.Q.O.: Digestor Hach. COD Reactor

Los ensayos de descomposición fotoquímica fueron realizados utilizando los materiales y equipos que a continuación se enlistan.

- Materiales de laboratorio
  - Probetas
  - Pipetas
  - Pro-pipetas
  - Vasos de precipitado
  - Erlenmeyers
  - Ampollas de decantación
- Equipamiento
  - Equipo de tratamiento fotocatalítico
  - Balanza analítica Mettler Toledo AB204

Se emplearon muestras de aguas residuales provenientes de dos diferentes establecimientos de lavado de prendas las que fueron conservadas apropiadamente hasta el momento de su utilización.

Para cada ensayo se utilizaron cuatro (4) litros del efluente sin tratamiento, los que fueron irradiados con luz UV en un equipo diseñado para tal fin. El dispositivo permite recircular el líquido contenido en el reactor, de manera tal que el tratamiento se extendió por períodos de dos y más horas.

### III.4.3. Resultados y conclusiones preliminares

Los resultados obtenidos, en materia de remoción de agentes contaminantes, por irradiación de muestras con luz UV, se muestran en la Tabla N° 14.

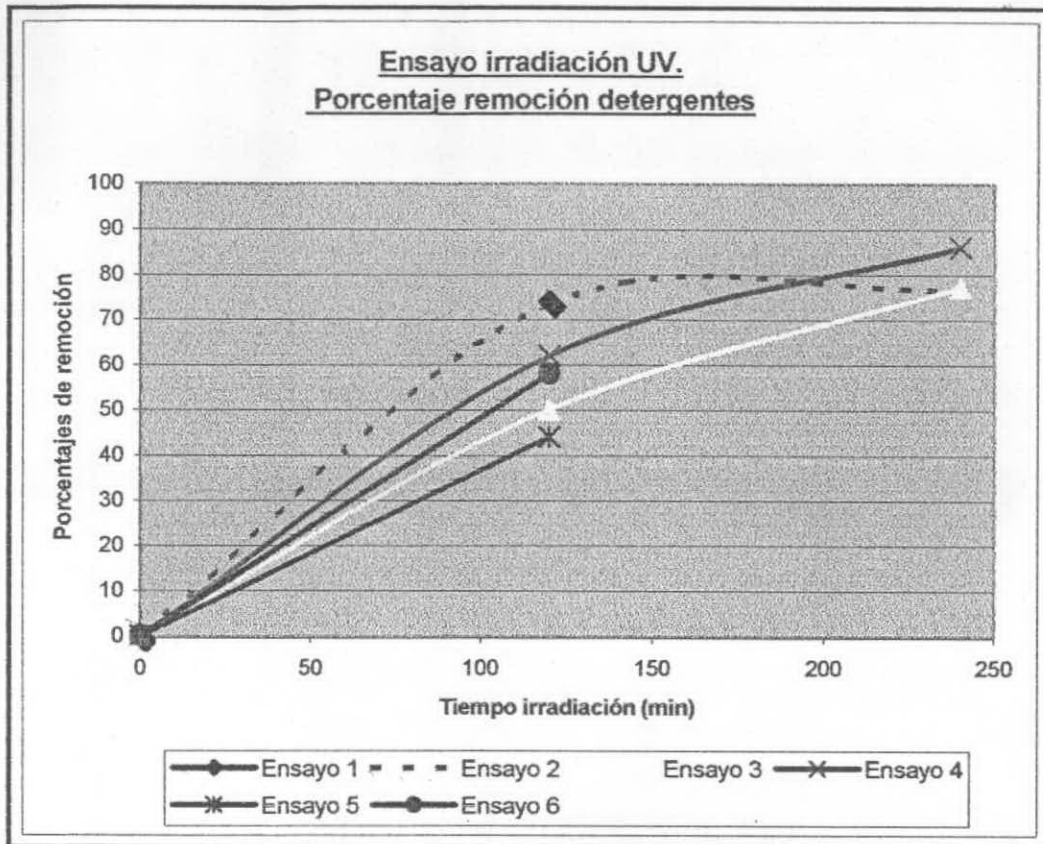
**Tabla N° 14. Resultados ensayos irradiación luz UV**

Determinación	Tiempo irradiación UV (horas)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH	D.Q.O. (mg/L)
1	0	22,8	0	9,0	
	2	5,9	74		
2	0	27,4	0	9,1	
	2	7,3	73,4		
	4	6,4	76,6		
3	0	35,1	0	9,1	257
	2	17,5	50,1		221
	4	8	77,2		217
4	0	33	0	8,9	472
	2	12,5	62		365
	4	4,5	86		324
5	0	33,8	0	9,1	
	2	18,9	44		
6	0	12,8	0	8,8	
	2	5,4	58		

Al igual que en los casos anteriores para cada determinación efectuada se realizaron dos y hasta tres ensayos adicionales para corroborar el valor encontrado. Los datos que figuran en la tabla son los valores promedio de las determinaciones.

En el gráfico N° 4 se representan los porcentajes de remoción en función del tiempo de irradiación de las muestras en los ensayos de laboratorio.

**Gráfico N° 4. Porcentajes de remoción de detergentes**



Los resultados obtenidos indican buenos porcentajes de eliminación de detergentes, registrándose porcentajes de remoción del 50% y más, a partir de las dos horas de irradiación con luz UV.

Es posible aseverar asimismo, que la extensión de estos tiempos de reacción, producen mejores rendimientos, alcanzándose en algunos ensayos valores de eliminación porcentual del contaminante, cercanos al 80% o superiores a él (ensayo N°4).

Las diferencias entre las distintas experiencias, en cuanto a los valores de remoción logrados, de hasta 30 puntos porcentuales (ensayo N° 5: 44% y ensayo N° 1: 74%), podrían atribuirse a las distintas condiciones de las muestras irradiadas, particularmente, en lo concerniente al contenido de material particulado en suspensión.

No se observaron variaciones demasiado significativas en referencia al parámetro Demanda Química de Oxígeno.

#### **IV. PLANTEO Y ELABORACIÓN PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS CONVENIENTE DESDE UN ENFOQUE TÉCNICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL**

En el presente capítulo se analizan las cuatro alternativas de tratamiento para la remoción de las sustancias contaminantes de interés, aplicadas en los ensayos de laboratorio. El estudio incluye, además de los resultados cuantitativos logrados en materia de eliminación de detergentes y fósforo especialmente, la evaluación de los costos asociados, de las implicancias ambientales de cada propuesta, del nivel de cumplimiento con las normativas vigentes en la materia y de los condicionamientos operativos de cada método.

En primer lugar se plantea un breve resumen sobre las ventajas y desventajas generales observadas para cada alternativa, proponiéndose a continuación una metodología de selección que contempla una serie de criterios que cuantifican y engloban los conceptos descriptos en el párrafo anterior.

La definición sobre los alcances y las limitaciones de cada metodología se efectuó considerando además de las características propias de los métodos, las instalaciones existentes en general en los lavaderos y las posibilidades de ampliación de las mismas, en función del espacio disponible en la mayor parte de los citados establecimientos. Al respecto se indica que el sistema usualmente empleado en la actualidad como tratamiento de los efluentes, consiste en una cámara de desbaste y decantación seguida de una cámara de aforo y muestreo.

Respecto de los parámetros de vuelco admitidos por la ley promulgada y en vigencia, en el ámbito de la provincia de Río Negro, Ley Provincial N° 2952, los valores límites para vertido de efluentes industriales en diferentes cuerpos receptores son los que previamente fueron informados en la Tabla N° 2, página 14 del presente documento.

Es importante aclarar que, a partir de los trabajos de campo efectuados en dos lavaderos de la ciudad, se obtuvieron conclusiones importantes, que se contraponen con algunas aseveraciones formuladas en ocasión del 2° Informe Parcial oportunamente presentado.

Al respecto y de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio, se concluía que no era necesario instalar cámaras adicionales para lograr la mejor performance del método, indicándose en aquella oportunidad que con una pantalla de tamizado fino para retener partículas suspendidas en el efluente, y con los decantadores existentes como infraestructura mínima, se alcanzarían aceptables rendimientos.

Sin embargo, el usualmente alto contenido de sólidos y partículas en suspensión de los efluentes de lavaderos, constituye un elemento que obliga a clarificar el vertido previo a

la ozonización del mismo, a través de una cámara que cumpla con tal objetivo. De hecho, la presencia de material suspendido en el efluente no solamente afecta la eficiencia de la oxidación producida por el ozono, sino que también dificulta la determinación del parámetro "detergentes". Como consecuencia de ello los costos operativos involucrados en esta propuesta, así como el análisis y ponderación de las ventajas y desventajas del método, varían levemente en comparación con el análisis efectuado previamente.

En función de los ensayos realizados para evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental del método de tratamiento por irradiación con luz UV, no contemplado en la anterior etapa del trabajo, se incluye en el presente capítulo un análisis complementario del efectuado en aquella ocasión.

La evaluación de la alternativa más eficiente en los términos más arriba descriptos, incluye entonces al tratamiento fotoquímico de los efluentes provenientes de lavaderos de ropa. De igual modo que fueron analizadas las demás metodologías, el estudio incluye, además de los resultados cuantitativos logrados en materia de eliminación de detergentes, una evaluación de los costos asociados, de las implicancias ambientales de la propuesta, del nivel de cumplimiento con las normativas vigentes en la materia y de los condicionamientos operativos del método.

#### **IV.1. Precipitación química**

El método consiste, tal como ha sido detalladamente descrito en el capítulo correspondiente, en el agregado sobre el efluente a tratar de productos químicos que operan como agentes de precipitación química. El procedimiento implica una etapa de agitación, a fin de asegurar un correcto mezclado entre las sustancias, seguida de un lapso de decantación en el que se produce la sedimentación de los flocs de sólidos formados por el proceso de coagulación-floculación.

En lo concerniente a los costos vinculados a la construcción de infraestructura, adquisición de equipos e insumos y operación del sistema, los mismos se informan en la Tabla N° 15.

La implementación del método requiere de un equipo dosificador de soluciones con protección anticorrosiva, de una cámara para mezclado de reactivos de precipitación con el agua residual y la provisión de insumos químicos. Se debe prever además, el costo por el transporte y la disposición final de los lodos acumulados en el decantador. Para la determinación del consumo de energía del equipo dosificador se estiman ocho (8) horas diarias de funcionamiento.

**Tabla N° 15. Costos precipitación química (sin IVA)**

Insumos	Costo aproximado(\$)	Observaciones
Bomba dosificadora	2000	Resistente a la corrosión
Consumo energía promedio (mensual)	35	1,1 KW/h
Sulfato de aluminio	200	Valores por kilo de producto, pureza analítica.
Cloruro férrico	185	Ídem anterior
Cloruro de calcio	92	Ídem anterior
Cámara decantación	500	En fibra de vidrio u hormigón premoldeado
Traslado y disposición final lodos (mensual)	90	Con transporte atmosférico, dos veces por mes
Costo mantenimiento aproximado (mensual)	50	
Mano de obra	200	Parte proporcional de un salario de tiempo completo (*)

(\*) Valor estimado sobre la base de un salario mensual completo del orden de los \$850

A partir de estos datos es posible definir un costo global de instalación del sistema y de operación del mismo:

Costo aproximado para instalación: \$2.500

Costo mensual de operación: \$ 680 (con sulfato de aluminio como reactivo)

A continuación se enlistan las principales ventajas y desventajas observadas y previstas para la implementación de esta tecnología.

→ **Ventajas**

- Aceptable eficiencia en la remoción de los contaminantes de interés
- Mejoramiento de la calidad fisicoquímica del efluente respecto de los valores de vuelco estipulados por ley vigente
- Disponibilidad de insumos químicos

→ **Desventajas**

- Requiere mano de obra especializada
- Produce un nuevo residuo (lodos) que debe ser apropiadamente dispuesto
- Muy sensible a las variaciones en las características cuali-cuantitativas del efluente

- Requiere disponibilidad de superficie para la instalación de cámara y equipo dosificador
- Traslada el problema suscitado sobre el medio ambiente, de un componente del mismo (recursos hídricos) a otro (suelos), por la disposición del residuo en vertederos
- Implica un costo de ejecución importante (adquisición bomba dosificadora y cámara de decantación)
- Conlleva un costo operativo significativo

#### IV.2. Filtración

La técnica de precipitación implica el paso del agua residual a través de un relleno conformado por arena volcánica sostenido dentro de un recipiente de dimensiones adecuadas, manteniendo un flujo descendente y de caudal variado. Las condiciones operativas se definieron teniendo en cuenta las diversas etapas, con sus volúmenes y tiempos de realización diferentes, involucradas en el proceso de lavado de prendas (lavado, enjuague, centrifugado, etc).

El material empleado como elemento filtrante se encuentra ampliamente difundido en la región cordillerana, producto de una vasta actividad volcánica histórica en la zona. El costo del producto es de aproximadamente unos \$150 por metro cúbico, incluido en ese valor el transporte del insumo.

La materialización del sistema de tratamiento requiere la instalación de una cámara de filtración previa a la decantadora, que deberá estar provista de las cañerías y accesorios necesarios para permitir el flujo del agua residual en sentido descendente a través del relleno.

El método no insume energía eléctrica pero si genera un nuevo residuo que debe ser transportado y dispuesto en sitios habilitados para tal fin. En la tabla N° 16 se resumen los costos previstos para esta metodología de procesamiento de efluentes.

**Tabla N° 16. Costos filtración (sin IVA)**

Insumos	Costo aproximado(\$)	Observaciones
Arena volcánica	150	Precio por metro cúbico
Cámara de filtración	650	Incluye sistema para contención de material de relleno del filtro
Cañerías y accesorios	150	Valor aproximado, depende de las instalaciones existentes.



Insumos	Costo aproximado(\$)	Observaciones
Traslado y disposición final lodos	45	Con transporte atmosférico
Costo mantenimiento aproximado (mensual)	15	
Mano de obra	---	La operación del sistema puede quedar comprendida dentro del salario acordado por otras tareas

Para la determinación de los costos operación del sistema se debe tener en cuenta los caudales procesados mensualmente, estimando que el volumen de relleno necesario para procesar cada metro cúbico de agua residual es aproximadamente la décima parte del mismo. Respecto de la inversión inicial a realizar, el monto aproximado es de \$ 800.

En función de estos valores se define un costo global de instalación del sistema y de operación del mismo, suponiendo un caudal diario de 1.6 m<sup>3</sup>/día (o 200 L/h) :

Costo aproximado para instalación: \$800

Costo mensual de operación: \$ 500 (incluye la reposición del material filtrante)

Las ventajas y desventajas más relevantes se citan a continuación:

→ Ventajas

- Costos de operación bajos
- No requiere mano de obra especializada
- Aceptable porcentaje de remoción de contaminantes
- Disponibilidad de insumos

→ Desventajas

- Produce un nuevo residuo que debe ser apropiadamente dispuesto
- Implica disponibilidad de superficie para la instalación de cámara de filtración
- Traslada el problema suscitado sobre el medio ambiente, de un componente del mismo (recursos hídricos) a otro (suelos), por la disposición del residuo en vertederos
- Los establecimientos que generan caudales importantes, requieren reposición permanente del material filtrante

### IV.3. Ozonización

La alternativa analizada se refiere a la mezcla íntima entre el agua residual y el gas ozono, generado a partir del paso de un flujo de aire a través de una descarga eléctrica de alto voltaje, que transforma el oxígeno presente en el fluido en el agente oxidante.

A causa de la gran inestabilidad característica del ozono, producto de su elevada reactividad y poder oxidante, el producto debe generarse en el lugar donde es utilizado e inyectado en el seno de la solución que se desea tratar.

El desarrollo de esta metodología requiere de la provisión de un equipo generador de ozono y, en función de los resultados obtenidos en escala prototipo, de una pantalla de tamizado fino para retener partículas suspendidas en el efluente, y una cámara adicional para clarificar el efluente, como infraestructura mínima para un correcto desempeño del sistema.

El costo operativo más importante involucrado en esta propuesta es el consumo energético, en tanto que la inversión inicial incluye como elemento relevante, la adquisición del equipo de generación del oxidante. En la Tabla N° 17 se indican los costos del tratamiento.

**Tabla N° 17. Costos ozonización (sin IVA)**

Insumos	Costo aproximado(\$)	Observaciones
Equipo generador de Ozono	3000	Para un establecimiento de tamaño medio
Pantalla de tamizado	150	
Costo mantenimiento aproximado (mensual)	50	
Mano de obra	100	Implica un seguimiento y verificación de funcionamiento del equipo
Consumo de energía eléctrica promedio (mensual)	5	0,2 kw/h (para caudal 200 L/h)
Cámara decantación	500	En fibra de vidrio u hormigón premoldeado

De la evaluación de estos guarismos, surgen los siguientes costos de instalación del sistema y de operación del sistema:

Costo aproximado para instalación: \$3.650

Costo mensual de operación: \$ 155

Las ventajas y desventajas de relevancia son las siguientes:

→ Ventajas

- Buenos rendimientos en remoción de contaminantes
- No requiere de superficie adicional
- No requiere de mano de obra calificada
- No genera subproductos nocivos ni lodos excedentes

→ Desventajas

- Costo de inversión inicial
- Implica disponibilidad de superficie para la instalación de cámara

#### **IV.4. Irradiación con luz UV**

La alternativa evaluada implica la irradiación de una muestra del efluente a tratar con luz ultravioleta de longitud de onda 254 nm, la que actúa sobre las moléculas de diferentes componentes del desecho líquido, detergentes entre ellos, produciendo su transformación en otros productos inocuos. El procedimiento comprende la recirculación del efluente a través de un reactor, que contiene la lámpara generadora de luz UV, de modo tal de permitir el contacto entre el agente físico (la radiación) y las sustancias a eliminar, el tiempo necesario para completar las correspondientes reacciones químicas. El proceso de recirculación asegura, al mismo tiempo, la homogeneización de la muestra.

En términos de costos asociados a la construcción de infraestructura, adquisición de equipos e insumos y operación del sistema, los mismos se informan en la Tabla N° 18.

Si bien el alcance del presente trabajo no preveía el desarrollo de experiencias con irradiación UV, en escala real, es posible aseverar que la implementación del método requiere la instalación de una cámara decantadora e interceptora de espumas y pelusas, y de una siguiente cámara donde colocar el dispositivo de radiación. Asimismo y conforme la metodología ensayada en laboratorio, se necesita una bomba de recirculación o en su defecto el reactor que contiene la lámpara debe ser de dimensiones tales que permita un tiempo de residencia del líquido no menor a dos horas.

Respecto de los costos vinculados con el transporte y la disposición final de los lodos acumulados, cabe aclarar que se evalúa el gasto producido solamente por aquellos barros que pudieran generarse por aplicación del método en cuestión, entendiéndose que, el costo para los sólidos retenidos en la cámara de decantación instalada previamente a cualquiera de las facilidades requeridas por las cuatro metodologías evaluadas, es el mismo. Para la determinación del consumo de energía del equipo de radiación se estiman ocho (8) horas diarias de funcionamiento.

**Tabla N° 18. Costos irradiación UV (sin IVA)**

Insumos	Costo aproximado(\$)	Observaciones
Lámpara UV	3700	
Consumo energía promedio (mensual)	20	0,75 KW/h
Cámara decantación	500	En fibra de vidrio u hormigón premoldeado
Traslado y disposición final lodos (mensual)	0	
Costo mantenimiento aproximado (mensual)	50	
Mano de obra	200	Parte proporcional de un salario de tiempo completo (*)

(\*) Valor estimado sobre la base de un salario mensual completo del orden de los \$850

A partir de estos datos es posible definir un costo global de instalación del sistema y de operación del mismo:

Costo aproximado para instalación: \$4.200

Costo mensual de operación: \$ 270

En los párrafos siguientes se enlistan las principales ventajas y desventajas observadas y previstas para la implementación de esta tecnología.

→ Ventajas

- Muy buena eficiencia en la remoción de los contaminantes de interés
- Mejoramiento de la calidad fisicoquímica del efluente respecto de los valores de vuelco estipulados por ley vigente
- No genera subproductos nocivos ni lodos excedentes

→ Desventajas

- Requiere mano de obra especializada
- Requiere disponibilidad de superficie para la instalación de cámara y equipo de irradiación
- Implica un costo de ejecución importante (adquisición bomba de recirculación y/o cámara de decantación)

#### IV.5. Selección de alternativas de tratamiento

El método propuesto para determinar cual de las alternativas evaluadas es la más apropiada para desarrollar en escala prototipo, decisión que esta sujeta a los resultados de las pruebas que se efectúen en escala real en la próxima etapa del proyecto, resulta de adaptar una metodología empleada para la definición de tecnologías de tratamiento de efluentes cloacales en poblados rurales (Ruiz Raúl, 1999).

En cada una de las cuatro posibilidades evaluadas en el presente documento se analizarán y cuantificarán en términos relativos, algunos criterios de selección considerados relevantes. Para cada concepto estudiado se establece una escala de valores relativos (entre 1 y 3), considerando que *los valores más altos indican una condición más favorable*, conformando una matriz que incluye las metodologías de tratamiento propuestas y los criterios de selección analizados.

Finalmente se plantea una sumatoria con las puntuaciones asignadas a cada criterio según el método de tratamiento evaluado, considerando que todos ellos son igualmente importantes.

Los criterios de selección propuestos son los siguientes:

a-) Superficie: se refiere a la disponibilidad de espacio para instalación de infraestructura y a la aptitud del mismo para el fin previsto .

b-) Costos de construcción: implica la ejecución de instalaciones de tratamiento (por ejemplo cámaras de decantación) y la provisión de equipamiento específico para el desarrollo de la metodología de depuración del agua residual; incluye materiales y mano de obra

c-) Mantenimiento y operación: contempla la necesidad de mano de obra especializada para asegurar el correcto funcionamiento del sistema

d-) Costos de mantenimiento y operación: involucra los costos de insumos, mano de obra operativa y costos de mantenimiento de instalaciones y equipos.

e-) Eficiencia de remoción: se refiera a los niveles de eliminación de los contaminantes de interés en el proyecto

f-) Sensibilidad y elasticidad: vinculado a la respuesta del sistema a las variaciones en la cantidad y calidad del efluente a tratar

g-) Implicancias ambientales: relacionado con los efectos producidos o evitados sobre el medio receptor de los vertidos

A continuación de este análisis se presenta la matriz con la asignación de valores para cada una de las alternativas investigadas de los atributos precitados.

a-) **Superficie:** la valoración de los atributos, de carácter relativo, se realiza asignado el valor más grande a aquella metodología que requiera menor superficie para su implementación.

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	Requiere cámara decantación
Filtración	1	Requiere cámara filtración
Ozonización	1	Requiere cámara decantación
Irradiación con UV	1	Requiere cámara decantación

b-) **Costos de construcción:** en este caso para las alternativas que impliquen costos más elevados, se les asigna el menor valor

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	Implica obra civil y adquisición de equipo dosificador
Filtración	3	Necesita la construcción de cámara de filtración
Ozonización	2	Compra de equipo generador de ozono y cámara
Irradiación con UV	1	Compra de equipo de radiación y bomba recirculación.

c-) **Mantenimiento y operación:** la metodología que implique mano de obra capacitada y especializada tendrá la menor puntuación

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	Se necesita operarios calificados para la manipulación de productos químicos y correcta operación del sistema de dosificación
Filtración	3	No requiere mano de obra calificada
Ozonización	2	Requiere mano de obra con capacitación mínima
Irradiación con UV	1	Requiere mano de obra calificada

d-) **Costos de mantenimiento y operación:** contempla tanto el valor de los insumos como de la mano de obra necesaria y el nivel de retribución en función de sus capacidades

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	Costos de reactivos químicos, energía eléctrica y mano de obra calificada
Filtración	2	Costo de insumos y mano de obra, bajos
Ozonización	2	Costo de energía y eléctrica y mano de obra
Irradiación con UV	2	Costo de energía eléctrica y mano de obra

e-) **Eficiencia en remoción:** de acuerdo a los ensayos en laboratorio, las tres alternativas cumplen performances similares.

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	3	
Filtración	2	Se evalúa el porcentaje de eliminación promedio una vez que el sistema esta en régimen
Ozonización	3	
Irradiación con UV	3	

f-) **Sensibilidad y elasticidad:** la metodología con mayor flexibilidad operativa frente a los cambios en las características fisicoquímicas del efluente y en los caudales instantáneos, tiene asignado el mayor puntaje

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	La dosificación de agentes de precipitación no detecta las fluctuaciones en calidad del efluente, produciéndose variaciones en la eficiencia del método según la relación contaminante/reactivo de precipitación agregado

Sistema	Puntuación	Observaciones
Filtración	1	El incremento del caudal de agua residual puede ocasionar desbordes en la cámara de filtración por una reducción en la sección hidráulica de flujo
Ozonización	3	Sin restricciones
Irradiación con UV	3	Sin restricciones

**g-) Implicancias ambientales:** analiza los subproductos y/o productos residuales, obtenidos por la aplicación del tratamiento.

Sistema	Puntuación	Observaciones
Precipitación química	1	Genera un residuo de precipitación que debe ser dispuesto en sitio asignado a tal fin. Contiene metales (Fe, Al o Ca)
Filtración	2	El relleno con el material retenido y/o adsorbido, debe ser dispuesto en sitio asignado a tal fin. No contiene elementos pesados
Ozonización	3	No genera residuos sólidos ni subproductos nocivos
Irradiación con UV	3	No genera residuos sólidos ni subproductos nocivos

Por último se formula la matriz final de selección (Tabla N° 19) que permitirá sugerir la alternativa más apta para el objetivo planteado.



**Tabla 19. Matriz de selección**

<b>Criterio</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Precipitación química</b>	<b>Filtración</b>	<b>Ozonización</b>	<b>Irradiación UV</b>
<b>Superficie</b>		1	1	1	1
<b>Costos de construcción</b>		1	3	2	1
<b>Mantenimiento y operación</b>		1	3	2	1
<b>Costos de mantenimiento y operación</b>		1	2	2	2
<b>Eficiencia en remoción</b>		3	2	3	3
<b>Sensibilidad y elasticidad</b>		1	1	3	3
<b>Implicancias ambientales</b>		1	1	3	3
<b>Puntaje final</b>		<b>9</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>14</b>

#### **IV.6. Conclusiones**

Se desprende del análisis de los resultados de la matriz de selección que el método que mejor se ajustaría para alcanzar los objetivos definidos, es el de ozonización del efluente. En la etapa siguiente del trabajo, la alternativa fue monitoreada en ensayos a escala real en un lavadero en funcionamiento.

De esta forma se pretendió corroborar la pertinencia de la selección efectuada, con un monitoreo exhaustivo del funcionamiento del sistema evaluando principalmente la eficiencia en materia de remoción de detergentes.

Los resultados logrados con las otras tres metodologías, filtración, precipitación e irradiación con luz UV, indican que son propuestas técnicamente viables y su implementación lograría buenos resultados. Sin embargo y en función de las otras consideraciones analizadas precedentemente, la ozonización se erige como la tecnología que mejor responde no sólo en términos de la eficiencia del tratamiento, sino también en cuanto a las implicancias medioambientales y a los costos operativos asociados.

## V. DESARROLLO A ESCALA PROTOTIPO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA. IMPLEMENTACIÓN EN UN ESTABLECIMIENTO PRESELECCIONADO.

Conforme los resultados logrados en la etapa de investigaciones básicas desarrolladas en escala laboratorio, la alternativa seleccionada para efectuar los ensayos en escala prototipo fue la de ozonización del efluente.

El trabajo de campo consistió, básicamente, en la puesta en marcha de un equipo ozonizador en las instalaciones de tratamiento de un establecimiento en funcionamiento, y en el seguimiento de un programa de muestreo de los efluentes con diferente grado de tratamiento.

En primera instancia se procedió a elegir un lavadero donde efectuar los ensayos, para lo cual se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- Infraestructura de tratamiento de efluentes: referido a la existencia de cámaras de decantación y/o pantallas para filtro de pelusas.
- Disponibilidad de espacio para instalación del equipo: principalmente relacionado con la factibilidad de ubicar el equipo en un sector seguro y al abrigo de inclemencias climáticas.
- Interés y colaboración del propietario: fundamentalmente por la eventualidad de realización de reformas en las instalaciones y/o modificaciones en el proceso de lavado de prendas.
- Funcionamiento del establecimiento: asociado a un movimiento mínimo que genere suficiente cantidad de efluentes.

El establecimiento elegido en primer lugar, a través de una selección efectuada evaluando los criterios más arriba enlistados, fue el empadronado N° 593 La Lavandería, cuyo establecimiento se encuentra ubicado en calle O. Goedecke N° 173 de la ciudad de Bariloche. En segunda instancia y por razones que se explicarán más adelante en el presente capítulo, se optó por el empadronado N° 40 Speed Clean, localizado en Avda. Bustillo Km 13,5 en la misma ciudad.

Los ensayos fueron realizados entonces, en dos establecimientos con características diferentes, no solo en lo concerniente a la infraestructura instalada y volumen de operaciones, sino también y principalmente, en cuanto al cuerpo receptor de los vertidos.

En los párrafos siguientes se realiza una detallada descripción de las experiencias efectuadas y de los resultados obtenidos en diferentes circunstancias, incluyendo aquellas que no lograron cumplir con las expectativas planteadas. En efecto, el relato sobre los ensayos efectuados responde a un orden sucesivo de variantes en la experiencia, conforme la necesidad de practicar ajustes en la técnica, tendientes a sortear las numerosas dificultades que surgieron en el trabajo de campo.

Se presentan los resultados obtenidos en cada caso por separado.

#### **a-) Establecimiento N°593, La Lavandería.**

El lavadero, localizado dentro del área servida por redes colectoras de efluentes cloacales, cuenta con un sistema de máquinas del tipo industrial constituido por cuatro equipos para el lavado y enjuague de prendas, dos centrífugas y equipamiento para el secado y planchado de las mismas.

Los trabajos fueron realizados en dos etapas, las que se distinguieron por la cantidad de operaciones de lavado concretadas en el establecimiento, alta y baja temporada, y por el tratamiento desarrollado sobre los efluentes generados.

#### **□ Etapas A**

De acuerdo a lo declarado por el propietario en función de la información de los proveedores de equipos, tres de las lavadoras consumen 120 litros por lavado, en tanto que la cuarta insume 250 litros por proceso, contando un lavado y tres enjuagues en cada caso.

Respecto de la infraestructura instalada en relación con el tratamiento de los efluentes, tal como se observa en el Gráfico N° 5, debajo de cada equipo se ubican cámaras interconectadas que colectan los vertidos, construidas con una pendiente tal que los vertidos confluyen en una de ellas para su vuelco en la cañería que conecta al conjunto con la red cloacal.

El volumen útil instalado al inicio de las experiencias era, aproximadamente y considerando condiciones de funcionamiento a caño lleno y con las cámaras parcialmente inundadas, de 160 litros por cámara. Asimismo, cada lavadora puede descargar sobre la cámara dispuesta debajo del equipo, un volumen equivalente a dos procesos completos por hora, es decir 240 litros para las máquinas más pequeñas y 500 litros para la mayor de ellas. El caudal máximo producido por las tres máquinas funcionando en simultáneo y considerando dos procesos de lavado por hora, es de 980 L/h. Este valor asciende a unos

1250 L/h, sumando al esquema de funcionamiento del establecimiento, la cuarta máquina lavadora.

A partir de estos datos y con el objetivo de alcanzar tiempos de residencia en las cámaras lo más alto posible y cercano a las dos horas, se dispusieron una serie de reformas no sólo para incrementar la capacidad volumétrica de la infraestructura sino también para mejorar la calidad del vertido previo al tratamiento con ozono.

Así, se instalaron codos para elevar el pelo de agua en las cámaras N° 2 y 3 (ver Gráfico N° 5) y se colocó una trampa para espuma y pelusas en la N° 2, construida con un tamiz de paso fino, diámetro de apertura de 2 mm. Por otra parte, se desviaron los ductos de descarga de las máquinas de manera tal que la descarga de los equipos 3 y 4 se realizó en la cámara N° 4 y la del equipo N° 2 en la cámara N° 3. La lavadora N° 1 estaba, en esta etapa del trabajo, fuera de funcionamiento.

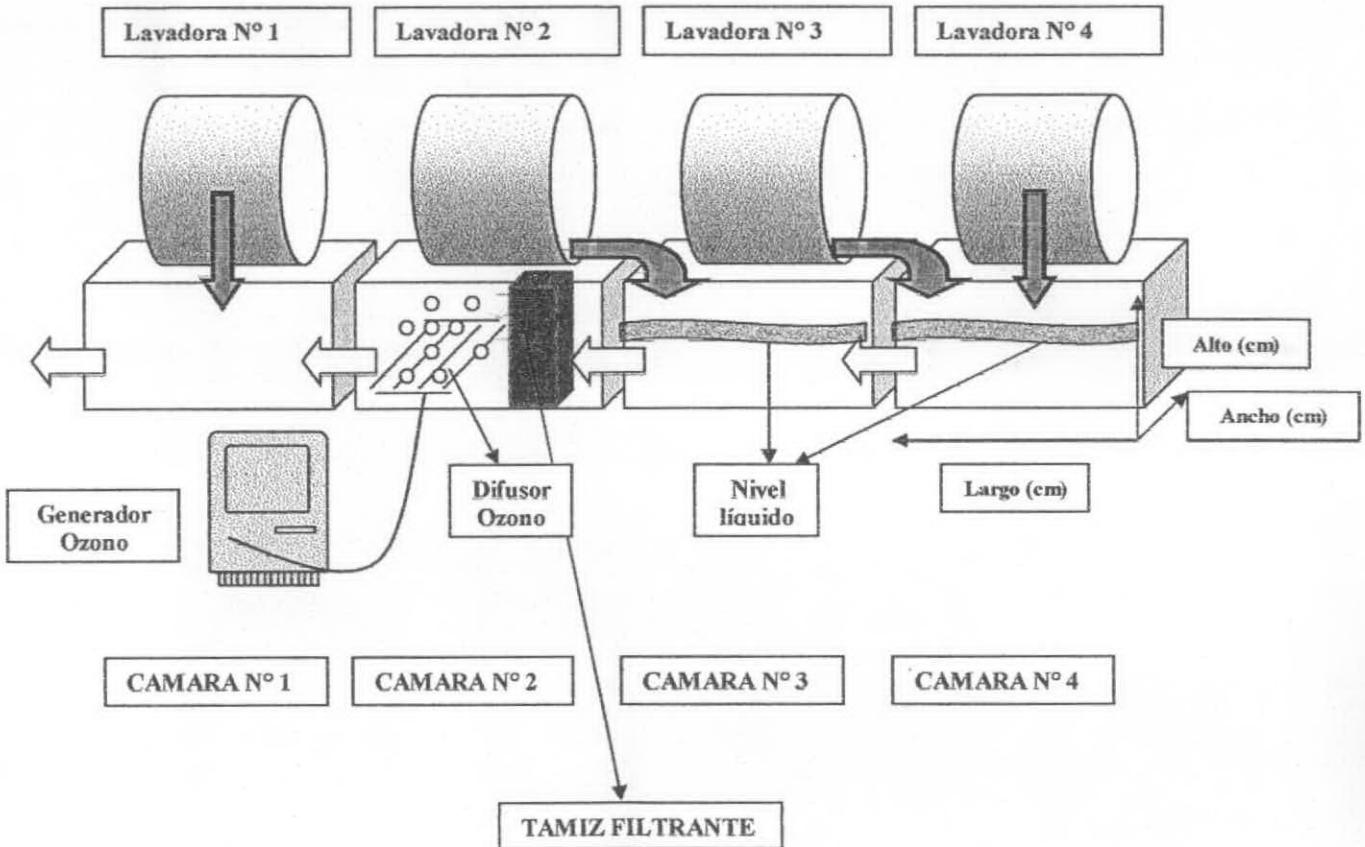
Con estas modificaciones, quedó conformada una cámara con una capacidad de aproximadamente 550 litros (constituida por la suma de los volúmenes correspondientes a los recipientes 3 y 4), para la descarga de tres equipos.

La conformación del conjunto constituido por los equipos de lavado existentes, las cámaras de recolección y tratamiento de los vertidos, y las modificaciones ejecutadas para optimizar la capacidad de las instalaciones, se muestran en el siguiente gráfico. En el esquema se presentan, las dimensiones de cada cámara y el volumen aproximado de las mismas, indicándose que todas las piletas de descarga poseen iguales tamaños.



Asimismo, se grafica la localización del sistema de difusión del gas ozono y de la pantalla que oficia de tamiz para retención de pelusas y espumas. El difusor fue materializado a través de una tubería de material flexible y resistente (goma), sobre el que se practicaron pequeños orificios para permitir el paso del agente oxidante.

**Gráfico N° 5. Instalaciones de tratamiento. Establecimiento N° 593**  
**La Lavandería**

**INSTALACIONES LA LAVANDERÍA**



**REFERENCIAS:**

-  Descarga desde lavadoras
-  Dirección de flujo del líquido
- Largo cámara: 137 centímetros
- Alto cámara: 40 centímetros
- Ancho cámara: 98 centímetros
- Nivel líquido en cámaras: 20,5 centímetros
- Volumen aproximado cámaras: 275 litros

En esta primera tanda de ensayos, el equipo generador de ozono se dispuso en el sector N° 2 a continuación del tamiz, colocando un sistema de difusión del gas que aseguraba una completa distribución del mismo en el seno del líquido a depurar. La producción teórica del ozonizador es de 8 gramos de ozono por hora.

Durante esta etapa, el establecimiento tuvo un menor volumen de operaciones, usual durante las denominadas temporadas bajas. Ello permitió secuenciar, durante algunas jornadas, los procesos de lavado, restringiendo de esa manera los volúmenes horarios descargados y optimizando, en consecuencia, la capacidad de las facilidades instaladas.

Los resultados obtenidos se informan en la siguiente tabla:

**Tabla N°20. Ensayos en establecimiento N° 593, Primera etapa**

Determinación	Tiempo ozonización (horas)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje de remoción (%)	D.Q.O. (mg/L)	pH	Observaciones
1	0	21,8	0	320	9,0	Temporada Baja
	1	22,0	0			
	2	14,6	33	301		
2	0	19,1	0		8,9	Temporada Baja
	1	19,4	0			
	2	7,0	63,3			
3	0	6,7	0	270	9,1	Temporada Baja
	1	5,9	12			
	2	7,2	0	253		
4	0	15,0	0	303	9,0	Temporada Baja
	2	9,9	34	254		
	3	8,8	41			
	4	9,2	39			

De la lectura de estos datos es evidente que la capacidad de eliminación de detergentes instalada, resultó insuficiente, no replicando los logros alcanzados en los trabajos de laboratorio. Se observan variaciones en las concentraciones del contaminante en cuestión, que parecen responder a las fluctuaciones propias de las descargas de las máquinas, demostrando ello que el tiempo de contacto entre el agente oxidante y el efluente no fue el apropiado. La descarga conjunta y simultánea de las tres lavadoras operativas, a

pesar de la mejora producida en la capacidad de retención de los vertidos, provocó tiempos de residencia hidráulicos menores a los necesarios para completar la oxidación.

### □ Etapa B

Transcurrida la parte inicial de los ensayos y considerando los resultados obtenidos, se procedió a implementar modificaciones en las instalaciones y a reforzar la provisión del agente oxidante, a través de la adquisición de un segundo equipo ozonizador.

Por un lado se amplió la capacidad de retención de las cámaras hasta un volumen aproximado de 825 litros, equivalente a la suma de las cámaras 2, 3 y 4, y por otro se aumentó la concentración de ozono teórica producida por dos equipos trabajando en simultáneo, a 32 gramos por hora.

La puesta en funcionamiento de estas modificaciones se realizó en conjunto con un sensible cambio en la actividad del establecimiento, el que incrementó de manera notable el volumen de operaciones diarias. En consecuencia no fue posible organizar un esquema de descarga de las máquinas que permitiera hacer efectivos los cambios implementados, tanto en materia de capacidad volumétrica, como de provisión del agente oxidante en las cámaras.

El movimiento registrado durante la temporada alta, con la cuarta lavadora en funciones, producía una descarga horaria promedio, del orden de los 1250 litros.

Los resultados quedan plasmados en la Tabla 21.

**Tabla N° 21. Ensayos en establecimiento N° 593, Segunda etapa**

Determinación	Tiempo ozonización (horas)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH	Observaciones
1	0	24,0	0	9,2	Temporada Alta
	2	20,5	14,6		
	3	24,2	0		
2	0	33,4	0	9,0	
	2	34,0	0		
	3	31,0	7,2		

Ante la evidente dificultad por encontrar condiciones operativas apropiadas para las facilidades disponibles, se decidió elegir un nuevo establecimiento con un menor volumen de operaciones.

#### **b-) Establecimiento N° 40, Speed clean**

El lavadero seleccionado para el desarrollo de la nueva etapa del trabajo, teniendo en cuenta los criterios de elección descriptos con anterioridad y la experiencia lograda en el establecimiento previo, se encuentra ubicado en un sector del ejido que no cuenta con servicio de recolección y transporte de efluentes cloacales.

Como consecuencia de ello los vertidos son dispuestos, luego del tratamiento físico usual, en pozos sépticos localizados en los fondos del predio donde se encuentra el lavadero. Sin embargo, la presencia de ingentes cantidades de detergentes en los vertidos ha producido en forma reiterada el colapso de las cámaras de disposición final, a causa del efecto de impermeabilización que producen aquellas sustancias sobre las paredes de los pozos. Así, el propietario ha tenido que instalar varios sistemas de drenaje e infiltración para evitar el desborde y derrame de efluentes sobre la superficie de su terreno, siendo esta una de las razones que despertaron su interés por la evaluación de alternativas tecnológicas que le permitieran resolver su problema.

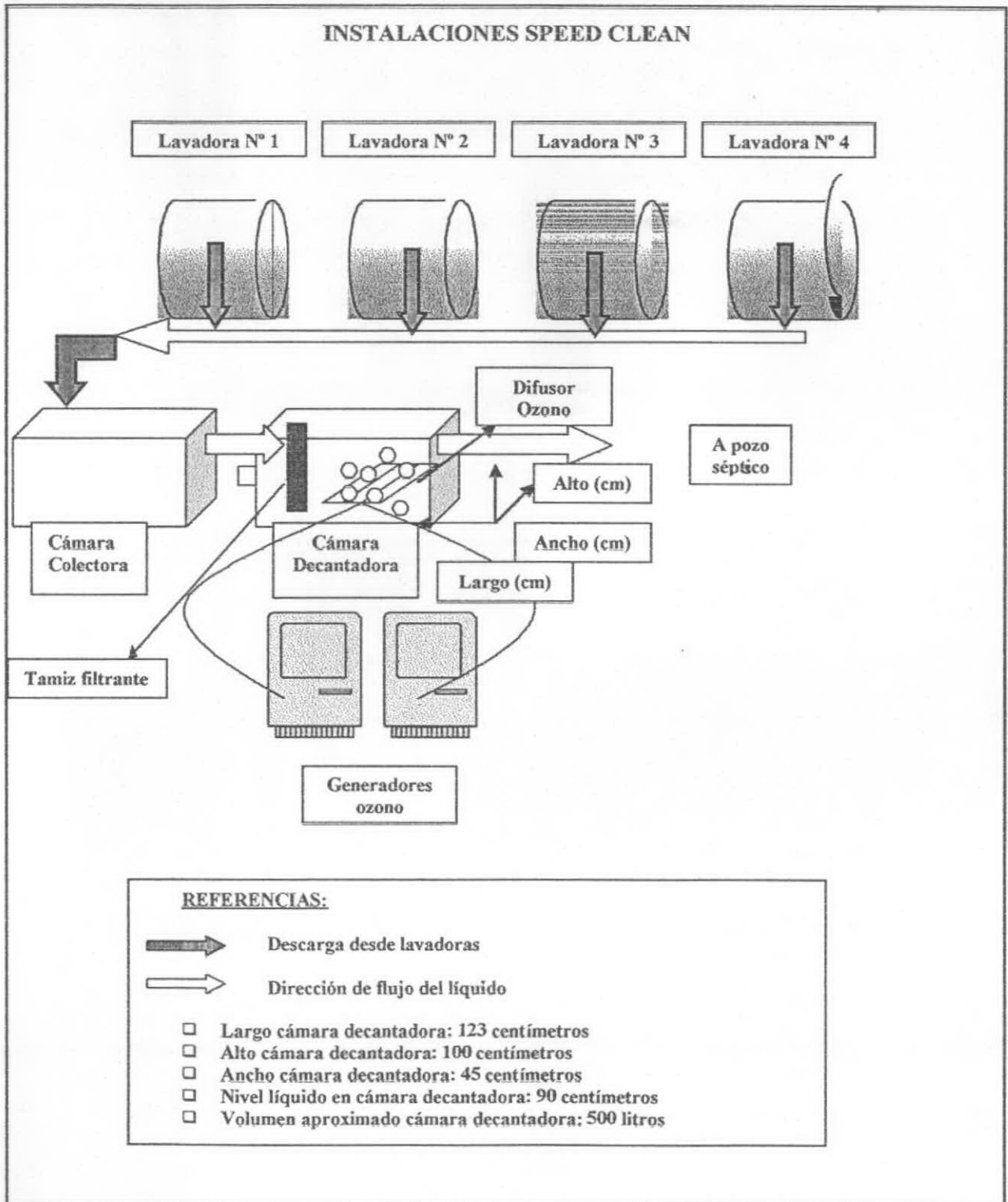
El local cuenta con cuatro máquinas para el lavado y enjuague de prendas y con tres secadoras centrífugas. Cada lavadora consume alrededor de 200 litros por proceso, entre lavado y enjuague, con una duración promedio de entre 45 y 60 minutos por cada operación efectuada. El caudal máximo a procesar, asumiendo que los cuatro equipos funcionen al mismo tiempo, es de unos 800 L/h.

En cuanto al sistema de tratamiento instalado, el lavadero cuenta con una cámara de descarga de las máquinas que recoge los vertidos producidos, una cámara de intercepción de espumas y decantación (en una misma unidad) y un pozo de infiltración para disposición final del efluente. El recipiente donde se produce la intercepción y decantación, tiene un volumen útil de aproximadamente 500 litros.

En el Gráfico N° 6 se presenta un croquis con la distribución de unidades en el lavadero empadronado con el N° 40.



**Gráfico N° 6. Instalaciones de tratamiento. Establecimiento N° 40**  
**Speed Clean**



Si bien la capacidad de retención existente no permite asegurar un tiempo de retención de dos horas para el tratamiento con el ozono, se simularon condiciones a partir del secuenciamiento de los procesos de lavado, hecho este que pudo concretarse merced a un volumen de operaciones menores que el registrado en el anterior establecimiento.

Los dos equipos ozonizadores se instalaron en la cámara de intercepción y decantación, a continuación del tamiz para filtrar espumas y pelusas, permaneciendo ambos en funcionamiento durante el desarrollo de las experiencias.

Como podrá observarse en los valores registrados en la Tabla N° 22, los primeros resultados obtenidos no fueron satisfactorios, debiendo implementarse una serie de cambios que modificaron el proceso de lavado, con el objetivo de lograr una disminución del contenido de detergentes en el efluente.

En este sentido, se decidió cambiar el sistema de filtración instalado (visiblemente deteriorado), colocándose una malla de paso más fino (de diámetro 2 mm) que permitió una mayor retención de partículas en suspensión. Asimismo y teniendo en cuenta que las concentraciones de detergentes medidas en el ingreso al sistema de tratamiento eran inusualmente elevadas (ver valores de experiencias 1, 2 y 3), se sugirió una revisión de las cantidades de detergentes incorporadas al proceso. Los cambios implementados no solo mejoraron la performance del sistema de depuración sino que también redundaron en un ahorro significativo en materia de insumos y materias primas involucradas en el lavado de las prendas.

**Tabla N° 22. Ensayos en establecimiento N° 40**

Determinación	Tiempo ozonización (horas)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH	D.Q.O. (mg/L)
1	0	102	0	9,2	459
	2	84,6	17		436
2	0	98	0	9,0	
	2	72	27		
3	0	104	0	9,0	504
	2	93	11		492
4	0	28,5	0	8,9	
	2	11,4	60		
	3	9,2	67,7		
5	0	26,5	0	9,2	181
	3	11,5	57		149
6 (1)	0	33	0	9,2	472
	3	15	54,5		640

Determinación	Tiempo ozonización (horas)	Detergentes (mg LAS/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH	D.Q.O. (mg/L)
7	0	26,3	0	9,3	
	3	9,9	62,3		

(1) El valor del parámetro D.Q.O. en la experiencia N° 6 luego de tres horas de ozonización, resultó mayor que el correspondiente al tiempo cero, probablemente por algún problema en la determinación analítica (la presencia de material particulado en suspensión pudo afectar el valor final).

### V.1. Conclusiones y definición del Modelo Prototipo

Las experiencias efectuadas en establecimientos en funcionamiento, particularmente aquellas desarrolladas en el lavadero empadronado con el N° 40, en las se implementó el tratamiento de efluentes con inyección de ozono en el seno del líquido, produjeron buenos resultados en materia de eliminación de detergentes.

A diferencia de lo que ocurre actualmente con los sistemas de depuración instalados, que consisten básicamente en cámaras de decantación y eventualmente tamices de filtración de pelusas, la remoción de sustancias contaminantes a través de la oxidación con uno de los más fuertes agentes oxidantes, el ozono (potencial de oxidación 2,07 ev), ha demostrado ser una alternativa versátil que ha producido resultados aceptables en términos ambientales, económicos y técnicos.

Si bien los datos logrados, no obstante los importantes porcentajes de eliminación, indican valores de vuelco que exceden los límites máximos permitidos para vertido aún en colectora cloacal, es evidente que la aplicación del método en las condiciones descriptas en párrafos precedentes, produjo resultados que se evalúan como altamente satisfactorios.

Tal aseveración se fundamenta, en opinión del consultor, en que los alcances logrados en el presente trabajo constituyen una línea de base a partir de la cual y con diseños que se adapten a las particularidades de cada establecimiento, es factible mejorar la calidad del efluente final de modo tal que cumpla con las normativas vigentes al respecto.

En este sentido es importante destacar que la ozonización requiere, además del equipo generador, ciertas instalaciones adicionales que aseguren un tiempo de contacto entre el agente oxidante y el líquido a depurar, no menor a dos (2) horas. Asimismo, la presencia

de material particulado en suspensión (pelusas y material coloidal) interfieren en el proceso de oxidación, restando eficiencia al método. Por esta razón, la instalación de tamices para retención de espumas y pelusas es un requisito imprescindible para alcanzar los objetivos de eliminación de detergentes planteados.

Por otra parte y referido a la cantidad de ozono requerida para la destrucción de los detergentes, de acuerdo a recomendaciones de proveedores de equipos generadores de ozono, se sugiere una relación 3 a 1 entre el oxidante y la sustancia a eliminar. Esto implica que para producir una reducción del 50% del contenido de detergentes en una solución con 30 mg LAS/L, se requieren aproximadamente 45 mg O<sub>3</sub>/L. Sin embargo, debe entenderse que estas cantidades son valores en condiciones ideales, por lo que al considerar las condiciones reales de aplicación, la relación usualmente se hace mayor.

En efecto, de las experiencias efectuadas en los lavaderos surge que la cantidad de ozono inyectada en el efluente, para lograr iguales porcentajes de eliminación, debe ser entre 5 y 6 veces mayor que la cantidad de detergente que se busca eliminar. Esta pérdida de eficiencia en el tratamiento puede originarse, entre otras razones, por un deficiente mezclado entre las burbujas de ozono y el líquido, proceso condicionado por el tamaño de estas últimas, por las dimensiones de la cámara de contacto y por el tiempo de residencia hidráulico del efluente.

En consecuencia, los conceptos más relevantes a tener en cuenta para el diseño del sistema de tratamiento por ozonización del efluente incluyen: adecuada difusión del gas en el líquido; tiempos de residencia no menores a dos horas (por recirculación o cámara de contacto de tamaño apropiado); eliminación previa de material particulado en suspensión; modelo de flujo hidráulico tipo pistón (cámaras largas y con una alta relación largo/ancho) y dosis de ozono adecuadas a la concentración promedio del efluente sin tratamiento.

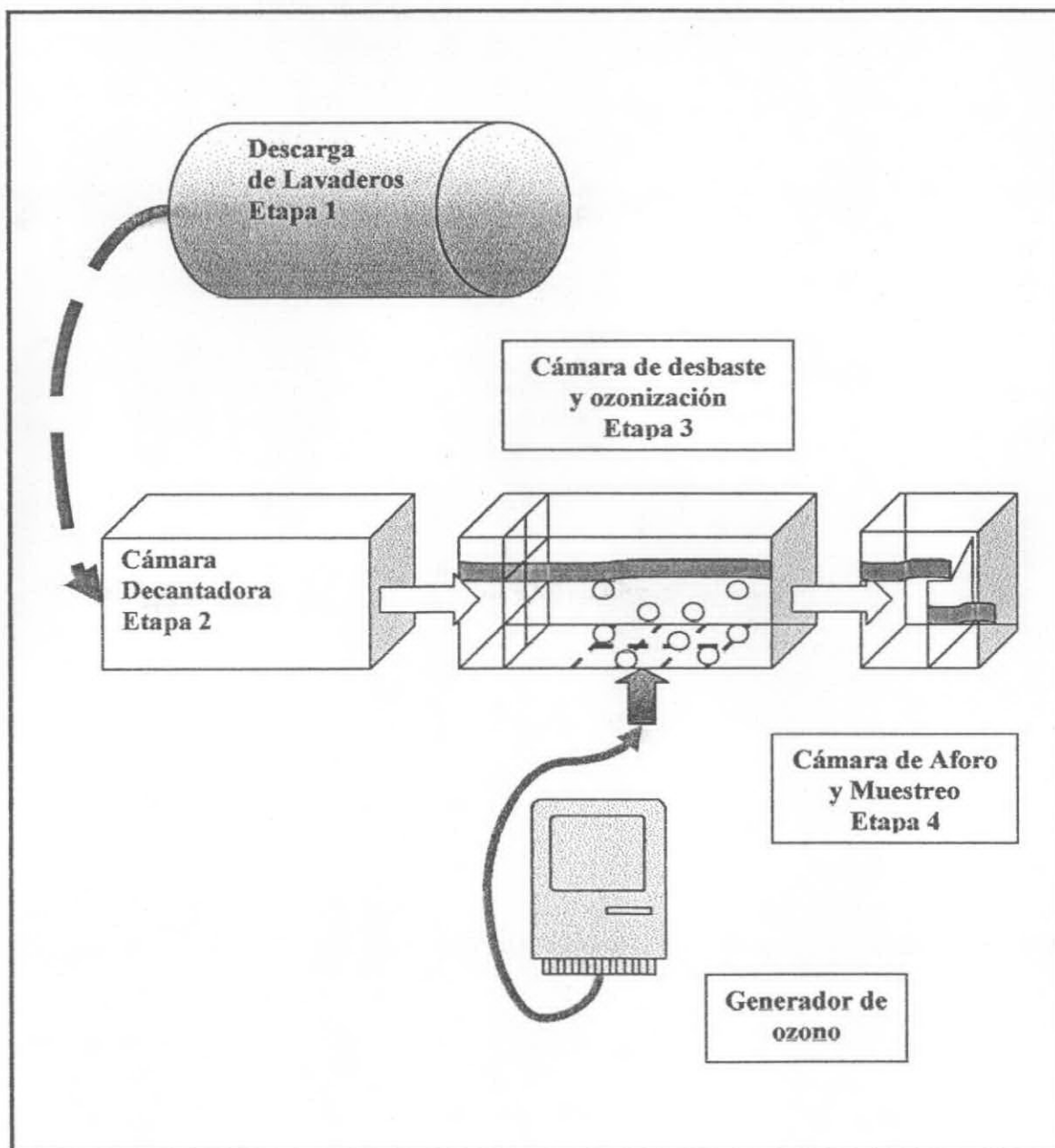
Para alcanzar valores de vuelco que cumplan con los límites exigidos por la ley provincial N° 2952, se deberá, además de considerar las pautas generales de diseño más arriba descriptas, definir la capacidad de generación de ozono del equipamiento empleado a tal fin. Cabe destacar que los costos de adquisición de un generador que produzca una cantidad equivalente al doble de la utilizada en las experiencias de campo, no difiere de manera significativa de los valores indicados en el análisis presentado en el capítulo IV del presente informe.

Resulta entonces imprescindible, definir con precisión los caudales medios y máximos diarios, así como también la concentración promedio del efluente, para poder determinar la cantidad de ozono que deberá proveer el equipo, a fin de lograr porcentajes de

remoción tales que los tenores de detergentes en el efluente tratado, verifiquen las exigencias reglamentarias vigentes.

El esquema de tratamiento tipo, sugerido a partir de los resultados logrados en el desarrollo del conjunto de las experiencias descritas en el documento, se presenta en el siguiente Gráfico N° 7.

**Gráfico N° 7. Esquema de tratamiento por ozonización**



En la Etapa 1 del procedimiento se genera el vertido del efluente producido en el proceso de lavado de prendas, que incluye lavado, enjuague y centrifugado, sobre la cámara de decantación. En esta se produce la eliminación de las partículas sólidas de mayor tamaño merced al tiempo de permanencia del líquido dentro del dispositivo, que permite la sedimentación de aquellas por efectos gravitacionales (Etapa 2).

El efluente parcialmente clarificado, es filtrado a través de una malla de paso no mayor a 2 mm de diámetro, con el objeto de retener material suspendido no sedimentado en la etapa previa y espumas. A continuación se produce el contacto entre el vertido y las pequeñas burbujas del gas oxidante, distribuidas de manera homogénea en el seno del líquido a través de un difusor. Ambas circunstancias conforman la Etapa 3 del proceso.

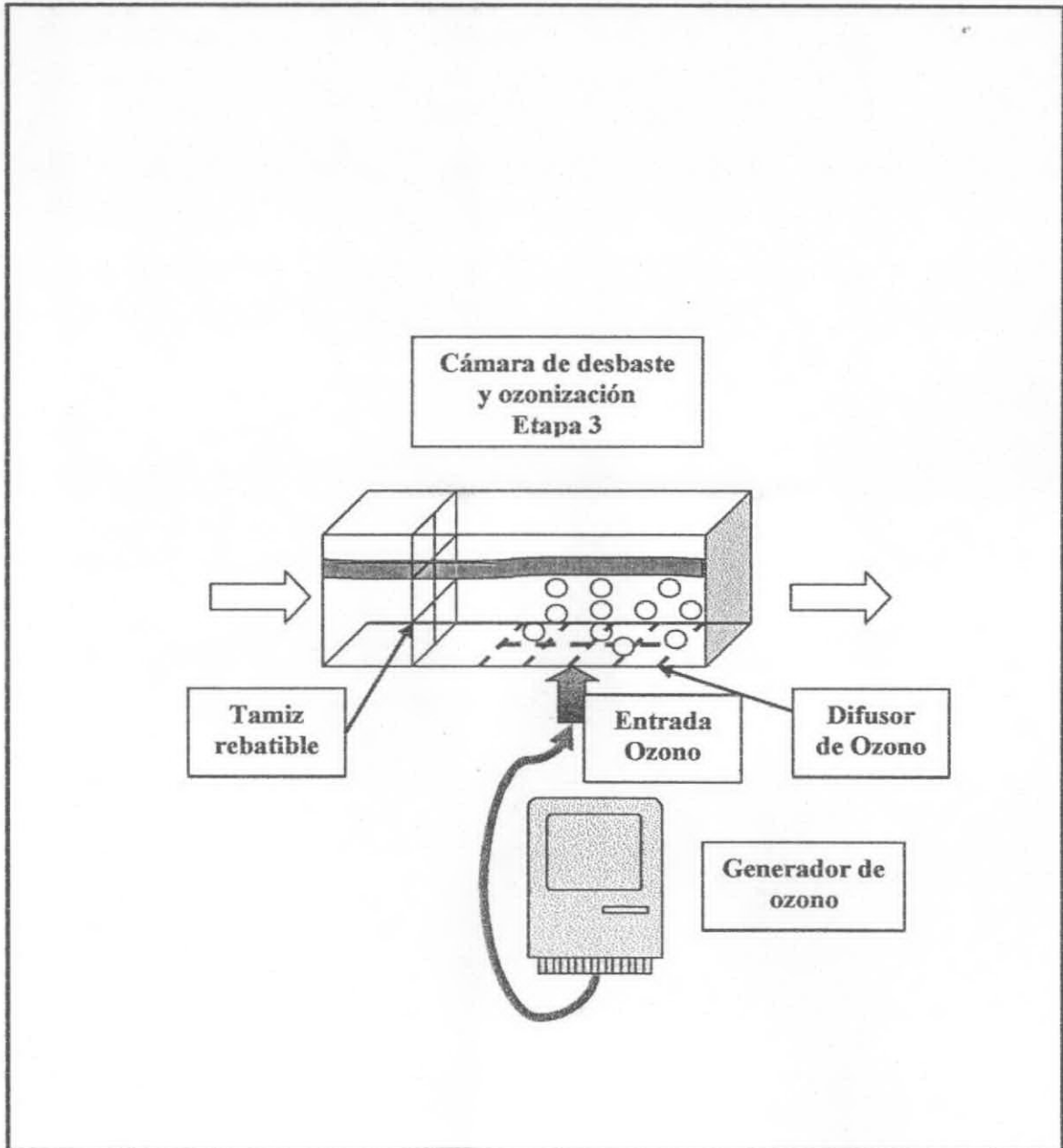
Finalmente, el líquido clarificado por sedimentación y desbaste y depurado por oxidación con ozono, accede a la Cámara de Aforo y Muestreo donde es posible definir caudales instantáneos y tomar una muestra para verificar los parámetros de vuelco del efluente (Etapa 4).

En el capítulo siguiente se definen las normas operativas básicas para lograr los mejores rendimientos en materia de eliminación de detergentes, abordando no solamente la etapa de tratamiento propiamente dicha de los vertidos, sino también la de generación de los mismos.

A continuación se presenta el esquema de la planta prototipo diseñada para el tratamiento de los efluentes generados en un establecimiento de pequeña envergadura, considerado un caudal promedio de 200 L/h y un líquido con una concentración de detergentes promedio del orden de los 20 a 25 mg/L.

La planta prototipo cuenta con una cámara de ozonización con cañería de entrada y salida, con un volumen útil de 450 litros, dentro de la cual se ha instalado un sistema de difusión del gas oxidante y un tamiz removible para retención de espumas y pelusas. Completa el conjunto, el equipo generador de ozono, con capacidad para producir unos 25 gramos de ozono por hora (25 gr O<sub>3</sub>/h). La cámara se construyó en fibra de vidrio y la cañería de difusión es de goma flexible, en tanto que los accesorios de ingreso y salida son de PVC. El prototipo deberá instalarse a continuación de cámaras decantadoras preexistentes.

Gráfico N° 8. Esquema Prototipo



## VI. NORMAS OPERATIVAS BÁSICAS

En el presente capítulo se definen pautas generales y básicas referidas a la gestión de materias primas y residuos implicados en la actividad analizada, de manera tal de generar una guía de procedimientos o prácticas ambientalmente sustentables.

Asimismo, se incluyen algunas recomendaciones para un apropiado manejo del sistema de tratamiento seleccionado como alternativa tecnológica, tendientes a lograr la mayor eficiencia posible en cuanto a la remoción de las sustancias contaminantes de interés.

A partir del seguimiento y observación de las actividades desarrolladas para el lavado de prendas a nivel comercial, es posible distinguir ciertas prácticas comunes en la mayoría de los establecimientos, que generalmente ocasionan inconvenientes respecto del grado de cumplimiento con las pautas de vuelco de efluentes. Así, es usual encontrar lavaderos con infraestructura destinada al tratamiento de los efluentes, que no es adecuadamente mantenida, lo cual reduce la capacidad de depuración instalada. A modo de ejemplo, las cámaras de decantación no son limpiadas con la asiduidad debida, lo que produce una disminución del volumen útil del recipiente y la consecuente disminución de los tiempos de retención hidráulica requeridos. En el mismo sentido, es común encontrar los tamices para retención de espuma y pelusas en mal estado, con las mallas perforadas o desprendidas del marco que las contiene y en general, oxidadas.

En otro orden de cosas, se ha detectado un uso poco racional de las materias primas requeridas para efectuar el proceso de lavado, en muchos casos sin el asesoramiento adecuado respecto del tipo de detergente a usar y a veces empleando cantidades de producto que superan largamente las realmente necesarias.

Es por estos motivos que se entiende pertinente la inclusión de una serie de recomendaciones que sirvan de base para el armado de una guía operativa que cubra los aspectos relativos tanto del manejo de los residuos generados en los establecimientos, como de las materias primas involucradas, pretendiendo de este modo atacar el problema de la generación de residuos contaminantes desde el inicio del proceso o actividad.

Si bien las sugerencias apuntan a un objetivo común, cual es de fomentar prácticas ambientalmente sustentables, las medidas de recomendación formuladas se presentan en dos grupos separados, referidos uno de ellos al conjunto de acciones involucradas en el proceso de lavado de prendas, y el otro estrictamente relacionado con el tratamiento de los efluentes generados en tal proceso.



## VI.1. Proceso de lavado de prendas

Algunos de los objetivos rectores contemplados en la generación de las recomendaciones son los siguientes:

- Reducción de contaminación del agua y del suelo a través de una disminución del volumen total de productos químicos empleados y mediante la limitación del uso de productos potencialmente peligrosos.
- Ahorro en el consumo energético y consumo de recursos
- Reducción del volumen de residuos sólidos producidos
- Aumento de la conciencia ecológica de los usuarios

A fin de poder alcanzar un nivel de cumplimiento aceptable para las metas citadas se sugieren las siguientes medidas:

- *Fomentar el uso de detergentes concentrados* por sobre los demás: a pesar de no tener un uso muy difundido, son los que ejercen el menor impacto sobre el medio ambiente. Permiten una disminución de la cantidad total de productos usados.
- *Emplear detergentes biodegradables y/o sin contenidos de sustancias tóxicas* para el medio ambiente: facilitan su degradación natural y/o a través de sistemas de tratamiento de efluentes.
- *Evitar el uso de demasiada cantidad de detergente*, siguiendo las instrucciones de dosificación de los proveedores: los avances tecnológicos en la materia han logrado productos de alta eficiencia que requieren dosis pequeñas para lograr el resultado buscado. Evitar el concepto de “si no hace espuma no funciona”, habida cuenta que los nuevos detergentes son baja espuma.
- *Elegir productos apropiados conforme al grado de suciedad de las prendas y a la dureza del agua usada*: existe una correlación directa entre este parámetro y la eficiencia del lavado. Las dosis aplicadas dependen de la relación entre dureza y grado de suciedad.
- *Clasificar la ropa previo al lavado*: se pueden aplicar diversos criterios, como por ejemplo, colores de la prenda, grado de suciedad y tipo de tejido.
- *Usar los equipos de lavado a plena capacidad*
- *Realizar un tratamiento especial y previo para las manchas difíciles de sacar*: medida tendiente a evitar la repetición de lavados para lograr la eliminación total de la suciedad
- *Procurar ciclos de lavado a baja temperatura*: con el objetivo de generar un ahorro en el consumo de energía.
- *En la medida de lo posible, utilizar recipientes de materia prima recargables*: a fin de evitar la disposición de residuos sólidos contaminados con detergentes.

## VI.2. Operación sistema de tratamiento

En el siguiente apartado se plantean una serie de medidas operativas que objetivan asegurar adecuadas condiciones de funcionamiento de las instalaciones, de modo tal de alcanzar las metas propuestas en relación con la eliminación de sustancias contaminantes de los efluentes originados en los establecimientos.

Para la definición de estas recomendaciones se asume un esquema de tratamiento consistente en las siguientes unidades, independientemente del sitio de disposición final del vertido tratado.

- a-) Cámara de decantación y filtro de pelusas y espumas
- b-) Cámara de contacto y equipo generador de ozono con difusor del gas oxidante
- c-) Cámara de aforo y muestreo
- d-) Conexiones para disposición final del vertido tratado

Tal como se ha indicado en el presente documento, la presencia de sólidos en suspensión implica una interferencia que reduce la eficiencia del método, razón por la cual, se debe mantener en condiciones apropiadas el tamiz o filtro ubicado previo a la cámara de contacto.

Por tratarse de un dispositivo que permanece en contacto permanente con agua, es usual observar avanzados estados de oxidación del mismo, con la consecuente rotura total o parcial del entramado metálico que constituye la malla del filtro. En el mismo sentido, los marcos que ofician de guías para poder retirar el elemento filtrante y las guías mismas, presentan en general iguales condiciones.

Al respecto, se sugiere el empleo de mallas plásticas o de otros materiales no oxidables y la implementación de una rutina de limpieza acorde al movimiento registrado en el establecimiento.

En cuanto a la cámara de decantación y en función de las importantes cantidades de material sólido sedimentable que contiene el efluente generado en los lavaderos, la acumulación de este material produce una paulatina reducción del volumen útil del recipiente, lo que ocasiona un disfuncionamiento del sistema instalado. En consecuencia se recomienda la limpieza periódica de la cámara, la que debe ser permanentemente

monitoreada a fin de constatar la necesidad de proceder o no al retiro del material sedimentado.

En general los equipos de ozonización prevén un uso continuado, empleando dos bombas que funcionan de manera alternada, permitiendo su operación durante toda la jornada de trabajo. La difusión del gas oxidante puede realizarse por diferentes vías, placas cerámicas, caños perforados y otros, debiendo en todos los casos tomar la precaución de verificar la ausencia de obstrucciones al libre paso del fluido gaseoso.

En lo concerniente a la instalación y manejo del prototipo propuesto, se deben considerar las siguientes pautas generales:

- Sobre la instalación: el prototipo cuenta con dos bocas, una destinada al ingreso del efluente y otra a la salida, que deberán ser conectadas en la línea de tratamiento existente. Tal como se ha mencionado previamente, el equipo se colocará entre la cámara decantadora y la de aforo y muestreo, de manera tal de asegurar que la totalidad del líquido pretratado acceda al dispositivo de filtración y ozonización.

De acuerdo a la disposición de las instalaciones en cada establecimiento, es posible que se requieran de accesorios más o menos complejos para permitir la conexión del prototipo. Así, en ocasiones el problema podrá resolverse mediante codos, suplementos o algún otro implemento de los usados habitualmente en las conexiones sanitarias. Sin embargo, es posible, particularmente en aquellos establecimientos que poseen instalaciones enterradas, que para intercalar el dispositivo de ozonización deban prever la construcción de cámaras adicionales o modificar las facilidades existentes, a fin de facilitar el flujo del caudal a tratar a través del prototipo.

Asimismo, el equipo generador de ozono, debe estar conectado a una línea de provisión de corriente eléctrica de 220 volts.

El prototipo tiene incorporado el sistema de difusión del gas y el inserto para la conexión con el generador.

- Sobre la operación: una vez que el dispositivo está instalado conjuntamente con el resto de las unidades físicas de tratamiento (decantadora y aforadora), se debe proceder a realizar la conexión del prototipo con el generador. Considerando el mecanismo de funcionamiento del equipo, que opera de manera alternada con dos bombas en paralelo, es posible mantenerlo encendido durante las 8 o 9 horas que dura la jornada usual de trabajo en un lavadero de ropas.

En función de ello, se sugiere encender el equipo generador, simultáneamente con el inicio del primer proceso de lavado de la jornada. Se debe tener la precaución que la cámara del prototipo tenga el máximo nivel de líquido posible en su interior.

Por otra parte, la malla del tamiz localizado en el tramo inicial del prototipo debe mantenerse limpia para lograr una adecuada retención de espumas y partículas sólidas, permitiendo al mismo tiempo, el paso del líquido clarificado. En este sentido se sugiere la limpieza diaria de la misma, antes de comenzar con el lavado de las prendas.

Los sólidos retenidos en el sistema de desbaste, serán depositados en recipientes estancos hasta su ulterior disposición en vertedero.

En condiciones normales de funcionamiento, una vez encendido el generador se deberá observar el burbujeo del gas distribuido homogéneamente en el seno del líquido a tratar. En caso contrario y a fin de evitar la rotura de alguno de los elementos que conforman el equipo, se debe apagar el mismo de manera inmediata y verificar el estado del difusor.

Teniendo en cuenta que el uso del dispositivo será interrumpido diariamente al final de la jornada de trabajo, es posible que se produzcan reabsorciones de líquido con el apagado del generador, que introduzcan partículas dentro del difusor, obstruyendo los orificios de salida del gas.

Si bien este hecho no se observó en las experiencias de campo, es razonable esperar que pueda suceder particularmente si no se efectúa un adecuado mantenimiento tanto de la cámara de decantación previa, como del tamiz del prototipo, lo cual empobrecerá la calidad del efluente a tratar con un incremento en la cantidad de material suspendido.

Ante estas circunstancias se deberá desmontar el sistema de difusión para proceder a su limpieza y posterior recolocación en la cámara correspondiente.

En la siguiente tabla N° 23, se resumen las recomendaciones de mayor relevancia para cada una de las etapas involucradas en el proceso de generación y tratamiento de efluentes producidos en establecimientos industriales de lavado de prendas.

**Tabla N° 23. Recomendaciones proceso de generación y tratamiento de efluentes.**

Etapa	Recomendaciones
(1) Lavado, enjuague y centrifugado de prendas	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Uso de detergentes concentrados</li> <li><input type="checkbox"/> Aplicación de detergentes en cantidades apropiadas, conforme sugerencias de proveedores</li> <li><input type="checkbox"/> Tratamiento previo para manchas difíciles de sacar</li> <li><input type="checkbox"/> Fomentar el uso racional de los insumos, por medio de información sobre las bondades de los productos, sus propiedades de biodegradabilidad y características fisicoquímicas de los mismos (existencia de productos tóxicos, formación de espumas, comportamiento frente a distintas calidades de agua)</li> </ul>
(2) Decantación del efluente	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retirar periódicamente los sólidos decantados, de modo tal de mantener el volumen útil de diseño de la cámara decantadora</li> <li><input type="checkbox"/> Instalar, en caso que no existiera, una pantalla dispersora de energía en la entrada del líquido, para evitar turbulencias que resuspendan el material sedimentado</li> <li><input type="checkbox"/> Programar las operaciones de lavado de manera tal de mantener un caudal de vuelco que asegure, como mínimo, dos horas de tiempo de retención hidráulica en el decantador</li> </ul>
(3) Filtración y ozonización	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Limpiar periódicamente y conforme a la demanda, la malla que constituye el tamiz para retención de pelusas y espumas (preferentemente antes del inicio de los lavados).</li> <li><input type="checkbox"/> Recoger los sólidos y semisólidos retenidos, en recipientes estancos (por ejemplo bolsas), para su posterior traslado y disposición en vertedero</li> <li><input type="checkbox"/> Verificar el funcionamiento del difusor de gases y limpiar en caso de necesidad</li> <li><input type="checkbox"/> Mantener el volumen útil de la cámara de ozonización, mediante la implementación de una rutina de limpieza adecuada a la demanda, para</li> </ul>

	asegurar el tiempo de contacto suficiente que permita lograr los valores de remoción de detergentes buscados.
(4) Aforo y muestreo	<input type="checkbox"/> Medir caudales instantáneos en distintos momentos del proceso de lavado, a fin de confirmar los valores empleados para el diseño del conjunto <input type="checkbox"/> Implementar un programa de muestreos para controlar la calidad del vertido <input type="checkbox"/> Limpiar periódicamente la cámara, manteniendo la capacidad del diseño original.

### VI.3. Conclusiones finales

La suma de resultados logrados en escala laboratorio más los producidos en el trabajo a campo con el prototipo, indica que el método propuesto para la remoción de detergentes en los efluentes provenientes de lavaderos industriales de ropa, permite alcanzar niveles de destrucción del contaminante en cuestión, sensiblemente superiores a los obtenidos con las metodologías usada hasta este momento.

En efecto, ninguna de las dos alternativas de aplicación en la actualidad, decantación y filtración, obtienen por si solas resultados satisfactorios en materia de eliminación de los detergentes, probablemente a causa que estos últimos permanecen en solución y son difícilmente sedimentables o filtrables por los dispositivos usuales.

A diferencia de estos, la ozonización permite un contacto directo entre el agente oxidante (uno de los que poseen mayor potencial de oxidación) y las sustancias contaminantes, produciendo una reacción química en la que los detergentes son oxidados a otros productos inocuos que no ocasionan los trastornos producidos por aquellos.

A su vez, el ozono se consume casi totalmente en el proceso, eliminándose cualquier exceso que quedara sin reaccionar con el efluente, de manera inmediata por contacto con el aire. Este aspecto implica la ausencia de residuos de tratamiento que requieran algún tipo de procesamiento adicional, o la disposición de desechos en otros cuerpos receptores.

Por otra parte los equipos involucrados en el proceso son de manejo accesible y fácil operación, requiriéndose para su puesta en funcionamiento una acometida con 220 volts de energía eléctrica.

Con diseños adecuados que consideren caudales medios y pico y concentraciones de detergente promedio en el efluente, es factible definir la cantidad de agente oxidante que debe proveer el equipo ozonizador para lograr porcentajes de remoción de los contaminantes, de manera tal que su vuelco cumpla con los valores límites estipulados por la normativa vigente.

Finalmente, y respecto de los costos asociados a la implementación del sistema propuesto, se estima que los mismos son asimilables por un establecimiento promedio, destacándose que si bien el costo inicial de adquisición e instalación del dispositivo puede representar una suma relativamente importante (dependiendo de las facilidades preexistentes), los costos operativos son muy bajos no solo en función de la prestación que brindan, sino también en términos absolutos (consumo de energía promedio para un generador de 25 gramos de ozono por hora, 0,2 KW/h).