



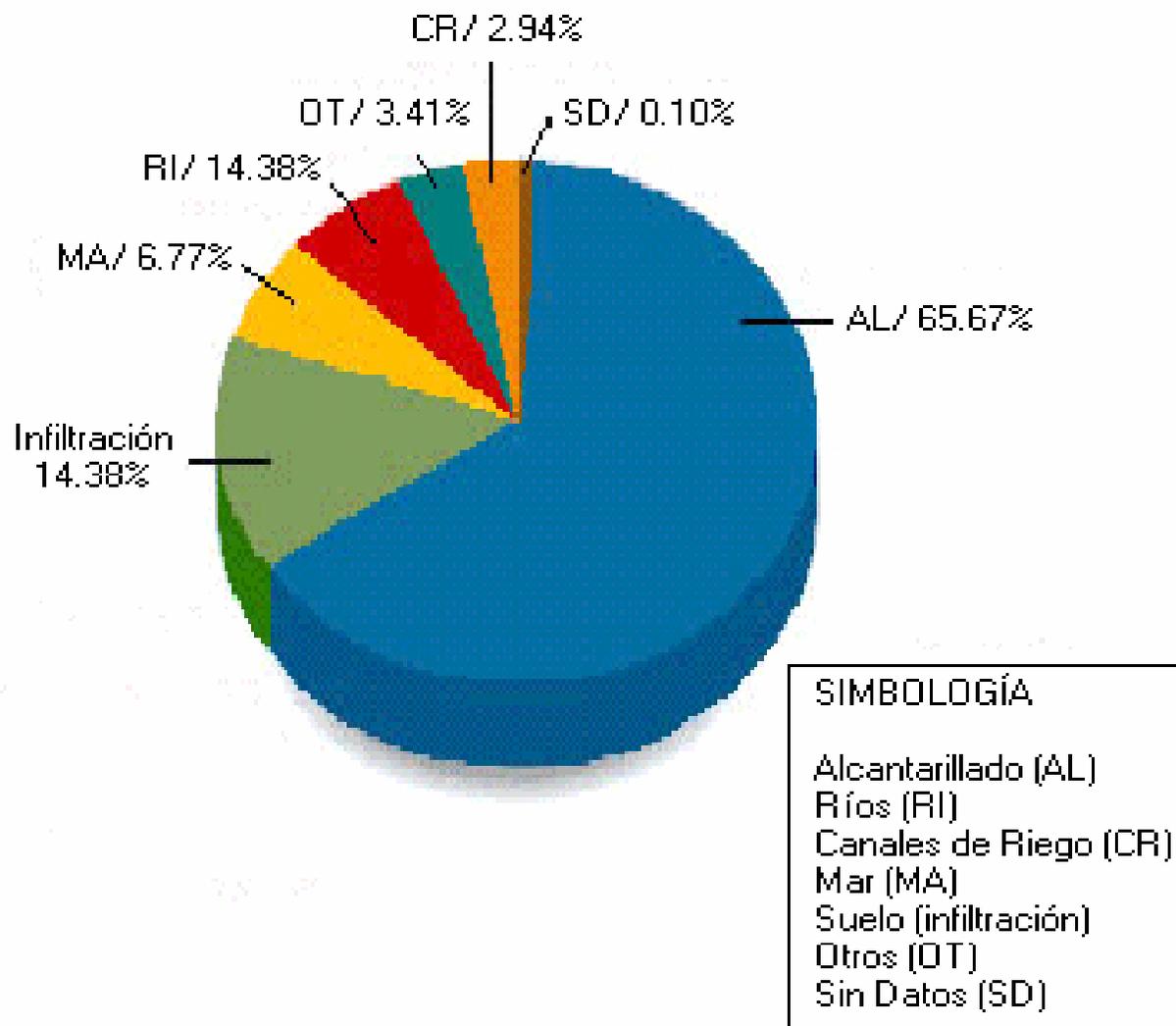
Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos (RILES)

Profesor: Dr. Julio Romero
Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Santiago de Chile

- La Región Metropolitana concentra alrededor del 60% de la actividad económica del país. El rápido crecimiento económico e industrial ha incrementado los problemas de contaminación ambiental siendo afectados recursos tan importantes como el **aire**, **suelo** y principalmente el **agua**.
- Los **Riles** corresponden a residuos industriales líquidos, es decir, son aguas de desecho generadas en establecimientos industriales como resultado de un proceso, actividad o servicio.

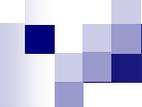
- Los Riles de las industrias las **químicas, metalúrgicas y las papeleras** poseen sustancias tóxicas que son difícilmente biodegradables y requieren un tratamiento previo a su descarga.
- Dentro de la caracterización global de Riles se ha encontrado que la mayor frecuencia de agentes contaminantes se debe a la presencia de **DBO₅, sólidos suspendidos, grasas, aceites y coliformes fecales.** (www.conama.cl).

Principales receptores de descargas de Riles en la actualidad, Región Metropolitana (CONAMA, 2004)



La descarga de Riles al sistema de alcantarillado puede provocar:

- La **corrosión, incrustación y obstrucción** de las redes de alcantarillado.
- Las condiciones para la **conformación de gases tóxicos o inflamables** en las redes de alcantarillado.
- Serias **interferencias en el proceso biológico de las plantas de tratamiento** de aguas servidas y en los subproductos generados.



La descarga de Riles a los cuerpos de aguas superficiales puede provocar:

- Graves efectos en el medio ambiente y en la flora y fauna acuática de los ríos, lagos y cauces naturales.
- Trastornos en la agricultura como consecuencia del riego con aguas contaminadas.

AGUAS RESIDUALES: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

- El agua residual se puede definir, considerando las **fuentes de su generación**, como la combinación de los desperdicios líquidos y los desperdicios acarreados por las aguas que se recolectan de lavados y fugas de equipos entre otros.
- El conocimiento de las características y naturaleza del agua residual es necesario para determinar su **manejo, tratamiento y disposición final**. Las propiedades físicas y los componentes químicos y biológicos de las aguas residuales se resumen en las siguientes tablas.

Propiedades físicas de aguas residuales

<i>Propiedades físicas</i>	<i>Procedencia</i>
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, desintegración natural de materiales orgánicos.
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales.
Sólidos	Aguas de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.

Propiedades orgánicas de aguas residuales

<i>Constituyentes químicos orgánicos</i>	<i>Procedencia</i>
Carbohidratos	Aguas residuales comerciales e industriales.
Grasas animales, aceite y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas y comerciales.
Agentes termoactivos	Aguas residuales domésticas e industriales.
Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos.

Propiedades inorgánicas de aguas residuales

<i>Constituyentes químicos inorgánicos</i>	<i>Procedencia</i>
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de aguas subterráneas.
Cloruros (Cl ⁻)	Agua de suministro, aguas residuales domésticas, infiltración de aguas subterráneas.
Metales pesados	Vertimientos industriales, aguas residuales domésticas y residuos agrícolas.

Propiedades inorgánicas de aguas residuales (continuación)

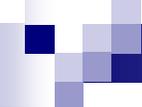
Nitrógeno (NO_3^-)	Aguas residuales domésticas, y residuos agrícolas.
pH	Vertimientos industriales.
Fósforo	Fósforo.
Azufre (SO_4^{-2})	Aguas de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales.
Compuestos Tóxicos.	Vertidos industriales.

Propiedades de gases de aguas residuales

<i>Tipo de gases</i>	<i>Procedencia</i>
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Metano (CH ₄)	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Oxigeno (O ₂)	Agua de suministro, infiltración del agua superficial.

Propiedades biológicas de aguas residuales

<i>Constituyentes biológicos</i>	<i>Procedencia</i>
Animales	Cursos de aguas y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de aguas y plantas de tratamiento.
Protistas	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.
Protistas	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

- 
- Una vez reconocidas y clasificadas las características del agua es importante realizar un claro análisis de los **componentes de los Riles y las actividades responsables de su aparición** para luego clasificar sus características más importantes y así escoger un tratamiento adecuado.
 - Las siguientes tablas muestran los constituyentes de los tipos de Riles y las actividades responsables de su generación (www.conama.cl).

Constituyentes de los tipos de Riles y actividades responsables de su generación.

<i>Tipos de Riles</i>	<i>Actividades industriales responsables</i>
<p><i>Con constituyentes minerales:</i> efluentes que contienen metales, complejos, compuestos halogenados y una serie de sustancias inorgánicas que presentan un elevado índice de toxicidad y peligrosidad.</p>	<p>Industria metalúrgica y siderúrgica, minería, determinados procesos de la industria petroquímica y también los procesos galvano plásticos.</p>

Constituyentes de los tipos de Riles y actividades responsables de su generación (continuación)

Con constituyentes orgánicos: la carga orgánica de un efluente puede ser muy variada dependiendo de la industria que lo haya generado. Existen determinadas sustancias orgánicas como la celulosa, los taninos, los compuestos azufrados y clorados, que resultan particularmente difíciles de biodegradar y por tanto se hace necesario un control estricto que asegure su correcto tratamiento antes de ser vertidos al cuerpo receptor.

Industria farmacéutica y alimentaria, entre otras.

Constituyentes de los tipos de Riles y actividades responsables de su generación

Tipos de Riles

Con constituyentes de naturaleza radiactiva: presentan problemas graves por una parte a causa de su elevada peligrosidad, tanto para el hombre como para las demás formas de vida, y por otra por su persistencia, pues la vida media de la mayoría de los compuestos radioactivos es muy elevada.

Actividades industriales responsables

Procesos en los que se emplean materiales radiactivos tales como reactores nucleares, laboratorios de investigación, entre otras.

Constituyentes de los tipos de Riles y actividades responsables de su generación (continuación)

Riles que producen contaminación térmica: vertidos que una vez incorporados al receptor provocan un cambio de temperatura en éste, con el consiguiente peligro para la flora y fauna acuática, a causa de la alteración de las condiciones térmicas del ecosistema.

Amplio espectro. Cualquier emisión de vapor o de líquidos enfriados es suficiente para desencadenar efectos perniciosos.

Contaminantes removibles de Riles.

<i>Residuos sólidos</i>	<i>Residuos sólidos</i>
DBO	Grasas animales
DQO	Gases
Acidez	Solventes
Alcalinidad	Nutrientes
Grasas	Metales Pesados
Aceites	Compuestos orgánicos persistentes

TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

- Se estima que sólo el 36% de las industrias de la Región Metropolitana cuenta con sistemas de tratamiento de residuos industriales líquidos, en el cual el 79% corresponde a tratamientos primarios, el porcentaje restante tiene relación con los tratamientos secundarios y terciarios; de este porcentaje se estima que sólo el 77% de las industrias cumple con la norma de Riles existente (www.conama.cl,2004).



Los procesos de purificación de Riles se efectúan desde tratamientos relativamente sencillos hasta complicados procesos tanto químicos como biológicos; por lo tanto el tratamiento de dichos residuos es posible dividirlos en cuatro grandes grupos, estos son:

- **Tratamiento preliminar**
- **Tratamiento primario**
- **Tratamiento secundario**
- **Tratamiento terciario**

COAGULACIÓN

Las aguas residuales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión. Las **materias en suspensión** pueden tener un tamaño y densidad tal que pueden eliminarse del agua por sedimentación, pero partículas como los **coloides** son de un tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y formación de una partícula más pesada para así poder sedimentar.

La **coagulación** en el proceso de tratamiento del agua tiene por objeto agrupar las partículas coloidales dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente del agua.

Factores que Controlan el Proceso de Coagulación

Existe una serie de factores que afectan la coagulación

- Clases de coagulantes
- Cantidad de coagulantes
- Características químicas del agua (pH)
- Tiempo de mezcla y floculación
- Temperatura del agua
- Grado de agitación

Coagulantes de uso general

<i>Producto Químico</i>	<i>Rango de pH</i>	<i>pH óptimo</i>	<i>Corrosivo</i>	<i>Dosis (g/l)</i>	<i>Recomendación de uso</i>
cloruro férrico	< 7.0 5.0 - 11	5.5	(pH = 2)	0.06	-Oxidar H ₂ S a pH altos -Acondicionamiento de fangos activos
sulfato ferroso clorado		5.5 9 - 9.5		0.06 - 0.16	- Acondicionamiento de fangos activos
sulfato ferroso	8.5 - 11	9.0		0.06 - 0.13	-Evitar sobredosis dosificación en solución

Coagulantes de uso general (continuación)

sulfato férrico	5.0 - 11	8.0 - 8.5		0.06	-Normalmente se usa con cal -Dosificación en seco o en solución
sulfato de alúmina	5.5 – 8.0	6 - 8.5		0.13 - 0.16	-No muy usado en aguas residuales - Dosificación en seco
Cal CaO			No		-Puede dosificarse en seco
Ca(OH) ₂					Para ajustar pH

Coagulantes de uso general (continuación)

carbonato de sodio			No		Puede dosificarse en seco
Cloro			Si		Dosificaciones especiales
cloruro de aluminio	5.5 < 9			0.13 a pH 9 0.06 y 0.13 a pH 2.5	

■ Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos se clasifican en tres tipos, los primeros son las sales de aluminio, los segundos las sales de hierro y las terceras los compuestos varios. El coagulante usado generalmente en las plantas de tratamiento son las sales de aluminio y de hierro debido a su bajo costo y fácil dominio.

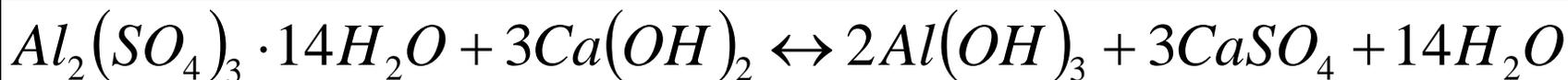
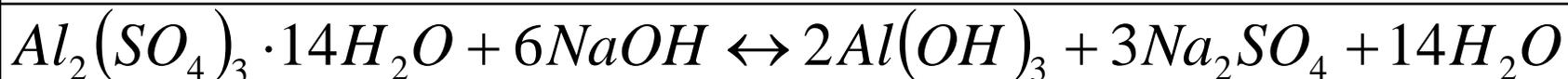
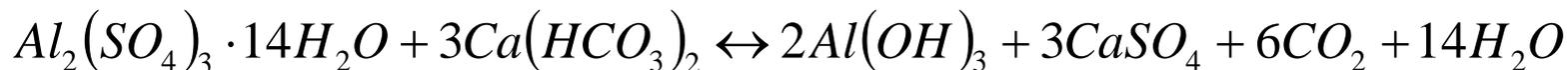
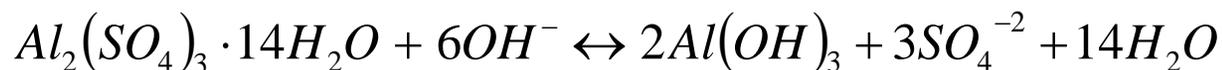
Históricamente, los coagulantes metálicos han sido los más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez

Química de coagulación con sales de aluminio(III)

El sulfato de aluminio es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2.0 y 3.8. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. (www.cepis.ops-oms.org).

En solución acuosa, el sulfato de aluminio se encuentra hidrolizado de la siguiente forma:



Floculación

- A continuación de la etapa de coagulación ocurre un segundo proceso llamado **floculación**.
- Este proceso tiene lugar tras someter a los microflóculos a una agitación lenta que permite la unión de las partículas en forma de red que se produce como consecuencia de la adición de compuestos orgánicos de cadena larga (polielectrolitos) que se adsorben sobre la superficie del sólido.
- En consecuencia, las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables denominadas **flóculos** que se caracterizan por una consistencia porosa, los cuales alcanzan un tamaño suficiente como para poder sedimentarse en el agua

Sustancias químicas empleadas en el proceso de floculación

Los floculantes llamados también “ayudantes de floculación”, son productos destinados a favorecer cada una de las operaciones de desestabilización del sistema disperso. Los floculantes son polímeros de alto peso molecular solubles en agua, que contienen grupos capaces de disociarse electrolíticamente para dar iones de carga elevada y alto peso molecular.

Los principales productos flocculantes es posible caracterizarlos en tres grandes grupos:

- **Catiónicos (carga positiva)**
- **Aniónicos (carga negativa)**
- **No iónicos (carga neta neutra)**

No hay ninguna regla que permita deducir cual de los flocculantes dará mejores resultados, por lo que siempre deberán efectuarse ensayos de laboratorio. Asimismo, se determinará el tiempo que debe transcurrir entre la introducción del coagulante y la del flocculante.

Clasificación coagulantes polielectrolitos.

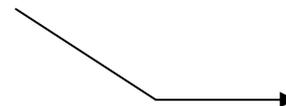
Según su origen

Según su carga

Polímeros naturales



Iónicos



Catiónicos

Aniónicos

Polímeros naturales



No iónicos

Ventajas de la utilización de los polímeros en los procesos de coagulación-floculación

- Entre las principales ventajas en la utilización de polímeros como auxiliares de coagulación en una planta de tratamiento convencional se tiene.
- Mejora en la calidad de agua filtrada y decantada.
- Reducción en el consumo de coagulantes primario.
- Reducción en el volumen de lodo sedimentado en el decantador.

- 
- Aumento de la remoción de microorganismo presente en el agua cruda.
 - Mayor eficiencia en la desinfección, debido a la reducción de sólidos suspendido en el agua filtrada.
 - Disminución en el efecto causado por la deposición de lodo en la red y en los tanques de almacenamiento.
 - En algunos casos, la reducción de costos.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS

- Se define el análisis organoléptico como una valoración cualitativa que se realiza a una muestra o cuerpo de agua residual. Este tipo de análisis facilita una posterior interpretación de resultados.
- Estos parámetros organolépticos son el color, turbidez o transparencia y el aspecto de la muestra

Caracterización de olores según su procedencia.

<i>Tipo de olor</i>	<i>Tipo de agua</i>
Inodoro	Típico de aguas dulces y frescas.
Olor metálico	Típico de aguas subterráneas.
Olor a sulfuro	Típico de aguas residuales domésticas, de materia orgánica y en general, de sistemas anaeróbicos
Olor vegetal	Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios.
Olor pídrico	Típico de lixiviados de residuos sólidos y de aguas procedentes de plantas de tratamiento.
Olor a pescado	Típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas.

Descripción del color de aguas residuales.

<i>Tipo de color</i>	<i>Tipo de agua</i>
Incoloro	Típico de aguas frescas y dulces.
Grisáceo	Típico de aguas residuales domésticas.
Amarillo sin turbidez	Típico de aguas subterráneas, de estuarios y de pantanos.
Amarillo turbio	Típico de aguas corrientosas y/o cargadas de limos y arcillas.
Amarillo verdoso	Típico de lagos y aguas ricas en fitoplantom.
Cafés u oscuras	Típico de aguas con altos contenidos de materia orgánica.

Aspecto de la muestra

Con el fin de complementar la información dentro de un análisis organoléptico, el aspecto de una muestra da referencia del grado de homogeneidad o consistencia de la muestra. Dentro del aspecto de una muestra, es importante realizar descripciones tales como:

- **Aspecto uniforme y transparente**
- **Aspecto uniforme pero turbio**
- **Presencia de sólidos sedimentables**

- 
- **Presencia de material vegetal.**
 - **Presencia de biota visible.**
 - **Presencia de materiales de origen antrópico.**
 - **Presencia de gases o efervescencia.**

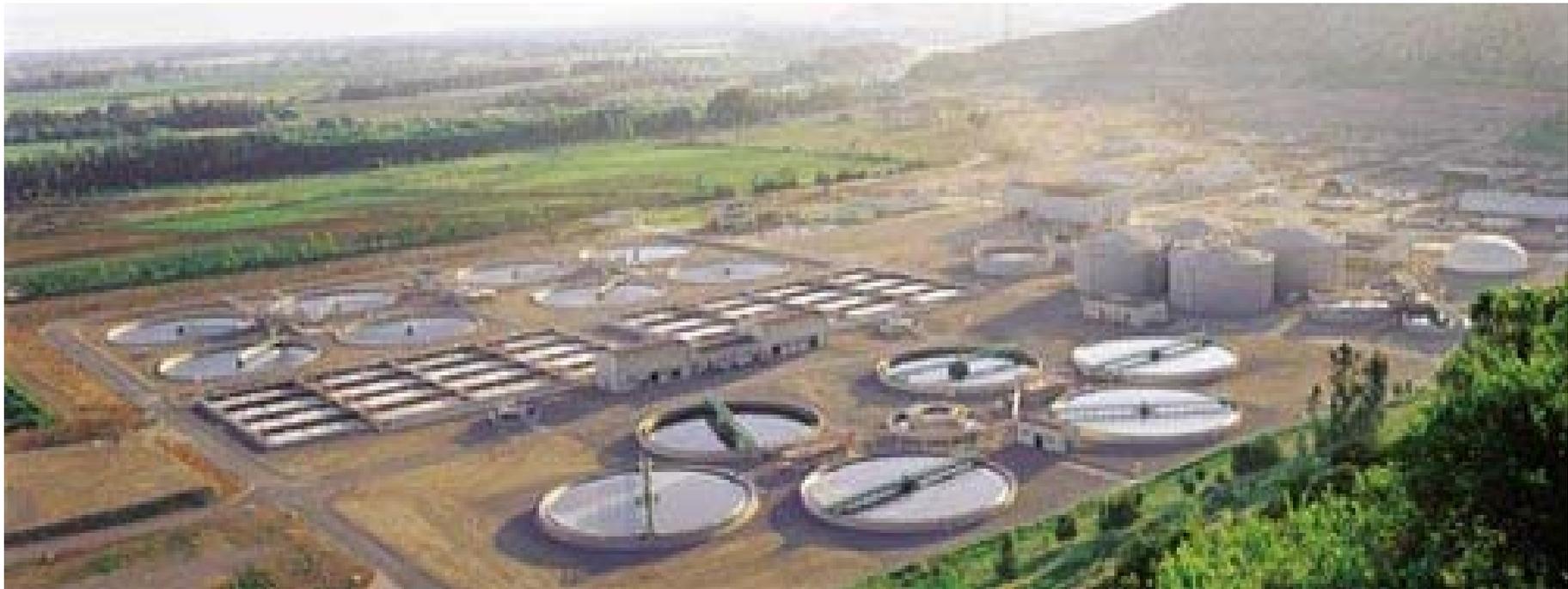
MÉTODOS PRIMARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS

Los mecanismos primarios utilizados en la purificación de aguas residuales se basan principalmente en la reducción de la turbidez de la muestra con el fin de decantar la cantidad máxima posible de sólidos suspendidos y en solución.

Industrialmente las operaciones asociadas a los tratamientos primarios de aguas residuales son:

- **Sedimentación**
- **Flotación con aire**
- **Coagulación – floculación**
- **Neutralización**

Planta de tratamiento de aguas servidas El Trebal



**Línea
de
lodo**



**Línea
de
agua**



Compuertas



Turbina aireadora



Reja automática hidráulica



Tamices



Sinfines transportadores



Tambor rotativo





Las pruebas realizadas a escala de laboratorio referente al tratamiento primario son:

- **Test de jarras**
- **Cono imhoff**
- **Sedimentación floculada**

La figura muestra un equipo típico de test de jarras.



Equipo de Cono imhoff.



Equipo de sedimentación

