

# **UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“BASES TEORICAS PARA EL DISEÑO Y APLICACIÓN DE  
GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA LOCALIDAD DE BAÑOS  
DEL INCA, 2018”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA  
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

**AUTORES:**

**CALUA ZAMORA JHONY ALEX**

**MORI ROMERO JOSÉ LUIS**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**



## INDICE DE CONTENIDOS

<b>INDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>7</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	<b>8</b>
<b>I.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA QUE MOTIVA LAS BASES TEÓRICAS</b> .....	<b>10</b>
<b>I.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>I.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>12</b>
<b>I.3.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>12</b>
<b>I.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>I.3.3. PROCEDIMIENTO METODOLOGICOS SEGUIDOS</b> .....	<b>12</b>
<b>II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES</b> .....	<b>12</b>
<b>II.1. DEFINICIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>II.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS</b> .....	<b>13</b>
<b>II.2.1. GEOTEXILES</b> .....	<b>14</b>
<b>A. METOLOGIA DE DISEÑO DE GEOTEXILES</b> .....	<b>33</b>
<b>B. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE GEOTEXILES</b> .....	<b>36</b>
<b>II.2.2. GEOMEMBRANAS</b> .....	<b>39</b>
<b>II.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	<b>55</b>
<b>III. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>71</b>
<b>IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>72</b>
<b>V. ANEXOS</b> .....	<b>73</b>

**LISTADO DE FIGURAS**

Figura 1. Muestras de algunos tipos de Geotextiles Tejidos .....	15
Figura 2. Muestras de algunos tipos de Geotextiles No Tejidos .....	16
Figura 3. Geotextiles - Función de separación.....	18
Figura 4. Geotextiles - Función de refuerzo. ....	19
Figura 5. Geotextiles - Función de drenaje.....	20
Figura 6. Geotextiles - Función de filtro.....	21
Figura 7. Geotextiles - Función de protección. ....	22
Figura 8. Geotextiles - Función de impermeabilización. ....	22
Figura 9. Geotextiles – Ensayos – Dimensión de las probetas.....	24
Figura 10. Geotextiles – Probetas a ensayar. ....	25
Figura 11. Geotextiles – Ensayo de probetas.....	26
Figura 12. Geotextiles logrando la máxima resistencia. ....	26
Figura 13. Geotextiles – Plantilla para el ensayo del desgarre trapecial (mm). ....	29
Figura 14. Geotextiles – Curvas características de fuerza de desgarro-alargamiento. ...	30
Figura 15. Geotextiles – Dispositivo para realizar el ensayo según norma.....	32
Figura 16. Geotextiles – Representación gráfica de la permeabilidad en el plano.....	33
Figura 17. Geomembranas de Alta Densidad (HDPE). ....	40
Figura 18. Geomembranas de Baja Densidad (LLDPE). ....	41
Figura 19. Empleo de Lagunas de estabilización de aguas residuales.....	46
Figura 20. Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana. ...	47
Figura 21. Fuerzas actuantes con suelo de cobertura sobre geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante. ....	50
Figura 22. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana von zanja de anclaje y fuerzas actuantes. ....	51



Figura 23. Circuito de los componentes básicos de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	55
Figura 24. Esquema de una laguna anaeróbica profunda.....	59
Figura 25. Esquema de una laguna aireada.....	59
Figura 26. Esquema de una laguna de maduración.....	61
Figura 27. Laguna facultativa primaria.....	62
Figura 28. Laguna facultativa primaria – reacción bioquímica simplificada de la fotosíntesis.....	63
Figura 29. Tanque séptico subterráneo de un compartimiento.....	65
Figura 30. Tanque Imhoff.....	65
Figura 31. Disposición de las lagunas de estabilización.....	66
Figura 32. Planta de lodos activados convencional.....	67

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Geotextiles – Norma con su velocidad de ensayo .....	24
Tabla 2. Geotextiles – Requerimientos de supervivencia .....	37
Tabla 3. Geotextiles – Aplicaciones de separación.....	38
Tabla 4. Geotextiles – Aplicaciones de Estabilización .....	39
Tabla 5. Métodos de ensayos destructivos y no destructivos más comunes en geomembrana.....	45
Tabla 6. Ángulos de fricción de geomembrana - suelo y geomembrana – geotextil según ensayo ASTM D 5321. ....	49
Tabla 7. Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE vs espesor.....	49
Tabla 8. Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación.....	54

## RESUMEN

En este trabajo, Propone un método adecuado para el diseño y aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales y así cumplir la función que de ellos se espera y alcanzar una prolongada duración como construirlo en el menor tiempo posible, además de cumplir con la protección del medio ambiente.

Presenta el desarrollo de los geosintéticos, con sus respectivos ensayos, propiedades, especificaciones técnicas para el diseño de los geotextiles y geomembranas. Estos estudios, permitirán hacer los diseños respectivos, para el geotextil diseño por función y para la geomembrana diseño por espesor.

Con estos métodos permiten diseñar un sistema de impermeabilización eficiente y estable en plantas de tratamiento especialmente en lagunas de estabilización, donde está compuesto por un medio de protección (geotextil) y otro impermeabilizante (geomembrana), lo cual proporciona un correcto manejo de las aguas residuales que no afectan la masa de suelo.

Los alcances de estos diseños de los geosintéticos (geotextiles —geomembranas) utilizados en los sistemas de impermeabilización y sellado de lagunas de Estabilización de aguas residuales de la ciudad de BAÑOS DEL INCA, es de manera segura y controlada, con una correcta aplicación y procedimiento constructivo especializado y llenado sobre sistemas de impermeabilización alcanzando resultados óptimos y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y como protección del medio ambiente.

### **Palabras Clave:**

Diseño, Aplicación, Geosintéticos, Construcción, Planta De Tratamiento De Aguas Residuales.

## SUMMARY

In this work, he proposes an adequate method for the design and application of geotextiles and geomembranes in wastewater treatment plants and thus fulfill the function expected of them and achieve a prolonged duration such as building it in the shortest possible time, in addition to fulfilling with the protection of the environment.

Presents the development of geosynthetics, with their respective tests, properties, technical specifications for the design of geotextiles and geomembranes. These studies, will allow to make the respective designs, for the geotextile design by function and for the geomembrane design by thickness.

With these methods they allow to design an efficient and stable waterproofing system in treatment plants especially in stabilization ponds, where it is composed of a protection medium (geotextile) and another waterproofing (geomembrane), which provides a correct management of wastewater that do not affect the soil mass.

The scope of these designs of the geosynthetics (geotextiles -geomembranes) used in the waterproofing and sealing systems of wastewater stabilization ponds in the city of BAÑOS DEL INCA, is safe and controlled, with a correct application and construction procedure specialized and filled on waterproofing systems achieving optimal results and contribute to improve the quality of life of the population and as protection of the environment.

Keywords:

Design, Application, Geosynthetics, Construction, Wastewater Treatment Plant.

## I. INTRODUCCION

En la mayor parte de las obras de Ingeniería Civil, específicamente en lo referente a la aplicación de los *POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD* en plantas de tratamiento de aguas residuales, se ejecutan bajo condiciones en las que procesos de diseño y construcción son ineficientes, para mitigarlos es recomendable el uso de mecanismos de estudio y métodos técnicos de construcción.

En ese sentido con el fin de mejorar las soluciones técnicas, durante los últimos años, han aparecido en el mercado del Perú los denominados *POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD* (Geosintéticos) que son ampliamente utilizados en otros países para resolver problemas técnicos de protección de su superficie en defensa de los agentes meteóricos a los que se encuentran expuestos, así como en áreas de almacenamiento de líquidos en este caso aguas residuales.

El principal problema en proyectos de ingeniería respecto a la aplicación de los geosintéticos (Geotextiles y Geomembranas) viene a ser la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permiten definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares, debido a la poca experiencia en el país en la aplicación de geosintéticos no existen criterios de diseño ni normas que sirven como guía para la selección adecuada y aplicación de los mismos en la planta de tratamiento de aguas residuales

En el distrito de Baños Del Inca, no cuentan en su mayoría con servicios de saneamiento, las aguas residuales en gran parte son arrojadas al suelo o a los canales y otras son vertidas a la red existente y esta desemboca al río Chonta y los pobladores se ven perjudicados al no existir un sistema de recolección, evacuación y tratamiento de las aguas servidas lo cual presentan peligros de enfermedades infecciosas parasitarias, gastrointestinales y dérmicas. Debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento de aguas residuales, Tales obras que tengan una durabilidad prolongada y proteger el medio ambiente, optándose de esta manera por la utilización de los geosintéticos.

En otro sentido, el término calidad total, aplicado inicialmente en el mundo empresarial, poco a poco se ha introducido en diferentes entidades privadas, evidenciando que el sector público no puede estar al margen de las aspiraciones de mayor bienestar sino que, mediante la mejora de la calidad, plantee su desarrollo por lo que las tendencias mundiales, exigen a las instituciones privadas a establecer un



sistema de Aseguramiento de Calidad en la Construcción y de una mejora continua a fin de aspirar alcanzar estándares internacionales. En algunas entidades públicas y privadas, no existe normativa, ni mecanismos técnicos que permitan asumir de forma sistemática una evaluación y mejora continua de la calidad en la construcción usando el Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

La importancia del presente trabajo de investigación, radica que en los últimos 15 años se evidencia una mejor opción de calidad de vida, la calidad de la construcción juega un papel determinante para el futuro, lo que hoy se construye persistirá en el tiempo y es una decisión respecto de la calidad de vida que se desea para el futuro. Por ende, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ha emprendido un conjunto de medidas dirigidas a mejorar la calidad en el contexto del reforzamiento de la calidad de construcción en todo el país, aplicando Planes de Aseguramiento de la Calidad (PAC), orientados fundamentalmente a instalar una serie de procedimientos técnicos y administrativos bajo la operatoria de la nueva política habitacional.

El presente trabajo de investigación, pretende ser un aporte de las experiencias ejecutadas en el trabajo de campo realizado en la construcción de obras utilizando geosintéticos, cuyos resultados servirán a los estudiantes de la Universidad Privada de Trujillo dedicados a estudios de diseño y aplicación con su debido control de calidad en la construcción.

Así también, deberá de servir como una herramienta de Gestión a los profesionales, impulsando la mejora continua en diversos proyectos que se encuentren a su cargo con la finalidad de convertirse en un profesional competitivo y de alta calidad, siendo capaces de supervisar, orientar y gestionar en forma correcta los diferentes procedimientos, usos de normas y herramientas de gestión.

Todos estos conocimientos referidos anteriormente y explicados llevaron a elaborar el presente trabajo, que estará orientado a todos los profesionales que se encuentren inmersos en el tema de diseño y aplicación de Geosintéticos.

### I.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA QUE MOTIVA LAS BASES TEÓRICAS

El principal problema en proyectos de ingeniería de la aplicación de los Geosintéticos (Geotextiles y Geomembranas) viene a ser la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permiten definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Debido a la poca experiencia en el país en la aplicación de Geosintéticos no existen criterios de diseño ni normas que sirven como guía para la selección adecuada y aplicación de los mismos.

Es por ello que en el presente trabajo, detalla las propiedades y funciones de los geosintéticos como materiales básicos para la impermeabilización y colocación en plantas de tratamiento de aguas residuales y como alternativa de solución para el sistema de recolección, evacuación y tratamiento de las aguas residuales, lo cual presenta un peligro de enfermedades infecciosas, parasitarias y dérmicas debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento de aguas residuales ,además de cumplir con la protección del medio ambiente.

La política de calidad impulsada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece un marco de mayores exigencias a la acción de los servicios de vivienda y urbanismo, a partir del año 2004, en el contexto del reforzamiento de la calidad en todo el país se dio inicio a la aplicación de los Planes de Aseguramiento de la Calidad (PAC), orientados fundamentalmente a instalar una serie de procedimientos técnicos y administrativos cuyo objetivo final es asegurar o mejorar la calidad de construcción bajo la operatoria de la nueva política habitacional.

El término calidad total, aplicado inicialmente en el mundo empresarial, poco a poco se ha introducido en diferentes entidades privadas, evidenciando que el sector público no puede estar al margen de las aspiraciones de mayor bienestar, sino que, mediante la mejora de la calidad, plantee su desarrollo por lo que las tendencias mundiales, exigen a las instituciones privadas a establecer un sistema de Aseguramiento de Calidad en la Construcción y de una mejora continua a fin de aspirar alcanzar estándares internacionales. En algunas entidades públicas y privadas, no existe normativa, ni mecanismos técnicos que permitan asumir de forma sistemática una evaluación y mejora continua de la calidad en la construcción usando el Sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana).

Actualmente, se habla del Aseguramiento de Calidad en la Construcción en el ámbito privado, sobre todo en sectores de construcción y minería, sin embargo, muchas empresas no cuentan con los documentos necesarios (Dossier de Calidad) para auditar después de entregado el proyecto para su posterior verificación, por lo que no se conoce con precisión del control de Calidad en la Construcción del referido proyecto. Dentro del marco de registro de información de Aseguramiento de Calidad en la Construcción.

En este contexto, la presente investigación tiene como fin elaborar protocolos que se requieran para los ensayos a la Geomembrana de acuerdo a la norma establecida, los cuales estarán dentro del Dossier de Calidad para realizar un adecuado sistema de Aseguramiento de calidad en la construcción usando Sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana).

## **I.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En la zona del departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, Distrito de Baños del Inca debido al crecimiento poblacional no cuentan en su mayoría con servicios de saneamiento, en el que las aguas residuales son arrojadas al suelo o a los canales y gran parte son vertidas a la red existente y esta desemboca al RÍO CHONTA y los pobladores se ven perjudicados al no existir un sistema de recolección, evacuación y tratamiento de las aguas servidas lo cual presentan peligros de enfermedades infecciosas, parasitarias, gastrointestinales y dérmicas. Debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento de aguas residuales, Tales obras que tengan una durabilidad prolongada, con bajos costos, y proteger el medio ambiente, optándose de esta manera por la utilización de los Geotextiles y Geomembranas. En el ámbito de aplicación de estos materiales (Geotextil y Geomembranas) está basado en, depósitos de líquidos y desechos (lagunas de estabilización).

El presente trabajo se propone por tanto determinar un método correcto para el diseño, aplicación y control integral de la calidad en la construcción utilizando geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales y de esta forma cumplir con los objetivos de lograr subsanar la problemática del saneamiento y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población.

### **I.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

#### **I.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Presentar las bases teóricas para diseño y aplicación adecuado de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### **I.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Describir los Geosintéticos y sus tipos.
- ✓ Presentar los Tipos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- ✓ Determinar las ventajas técnicas del sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana), en plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### **I.3.3. PROCEDIMIENTO METODOLOGICOS SEGUIDOS**

La técnica de recolección de datos es la revisión y el análisis de contenido de información basada en diversas bibliografías de libros difundidos por diversos autores para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. El instrumento de recolección de datos es la matriz de datos (Ver Anexo), donde se consigna la información obtenida de la revisión de las diferentes publicaciones referidas al tema. Se considera también como fuentes de información, las publicaciones de las Tesis referidas al tema del diseño estructural e hidráulico para defensas ribereñas.

## **II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES**

### **II.1. DEFINICIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS**

Los geosintéticos de acuerdo a la Norma (ASTM 12553/1999), es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los 2 primeros los de mayor utilización en la actualidad.

## II.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

### a) Geotextiles

Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los geotextiles que se definen como "un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser No Tejido, Tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas".

### b) Geomallas

Las geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón con las partículas del suelo de relleno o suelo circundante. La principal función de las geomallas biaxiales es indiscutiblemente el refuerzo.

### c) Geomembranas

Las geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos. Las geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material.

### d) Geoceldas

Productos fabricados con polietileno de alta densidad -HDPE- y soldadura ultrasónica que en función del calor logran un material estructural, flexible y durable para formar estructuras celulares y encierros tridimensionales, perfectos.

### e) Geoestructuras

Las geoestructuras son contenedores de suelo encapsulado que pueden ser utilizadas para reemplazar la roca como material convencional en estructuras de ingeniería hidráulica. Las geoestructuras tienden a ser más estables hidráulica y geotécnicamente, ya que son unidades más pesadas y más grandes en tamaño, con una relación ancho a alto mayor y tienen además un área de contacto entre unidades mayores.

### f) Geomantas

Materiales temporales degradables o permanentes no degradables fabricados en rollos y dirigidos a reducir la erosión de suelos y asistir el desarrollo, establecimiento y protección de la vegetación.

A continuación, se describe los ítems a y c motivos de estudio de la tesis.

## II.2.1. GEOTEXTILES

Los Geotextiles son, como su nombre lo indica, textiles permeables sintéticos, en su gran mayoría resistentes a la tensión, al punzonamiento y con excelentes propiedades hidráulicas. Existen dos tipos de geotextiles: no tejidos y tejidos, cada uno especialmente fabricado y con propiedades específicas que se ajustan a las diferentes aplicaciones dentro de cada proyecto.

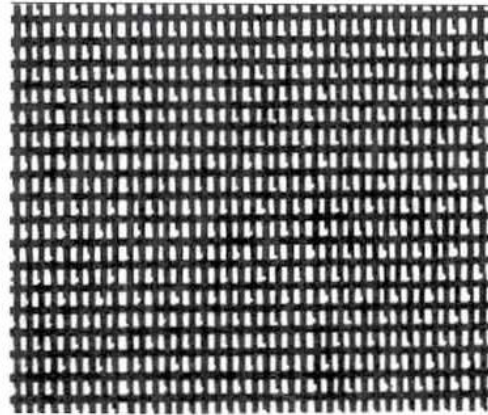
### A. Clasificación Según Su Método De Fabricación

#### ✓ Geotextiles Tejidos

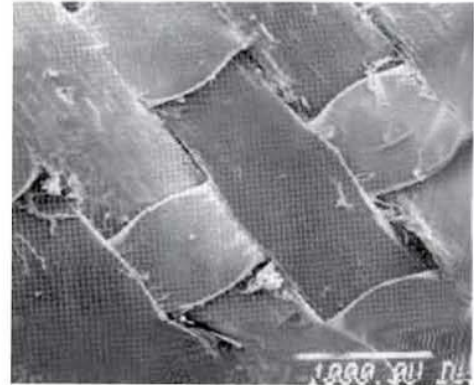
Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Están conformados mediante cintas de polipropileno en sentido de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal), mediante la ejecución de un procedimiento textil.

Es el tejido más simple y eficiente, conocido también como "uno arriba y uno abajo", dando como resultado una estructura plana. Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación). Gracias a su estructura y las características de las cintas empleadas, se caracterizan por tener altas resistencias y bajas

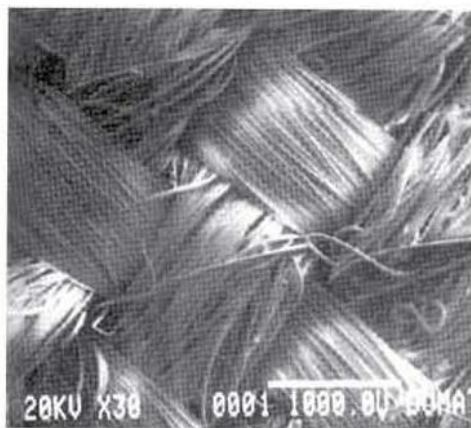
deformaciones, por lo que su aplicación está orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones.



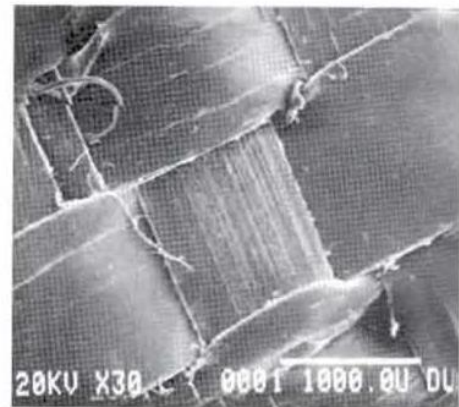
a. Monofilamento Tejido



b. Monofilamento Tejido calandrado



c. Multifilamento Tejido



d. Tejido Plano

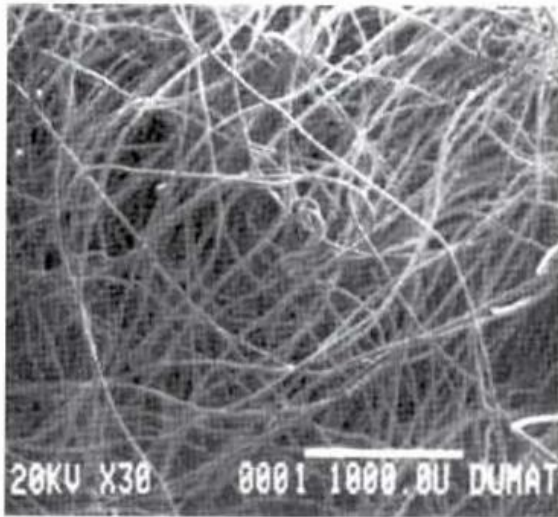
**Figura 1. Muestras de algunos tipos de geotextiles Tejidos**  
Fuente: Manual de diseño con geosintéticos (Novena edición 2012)

#### ✓ Geotextiles No Tejidos

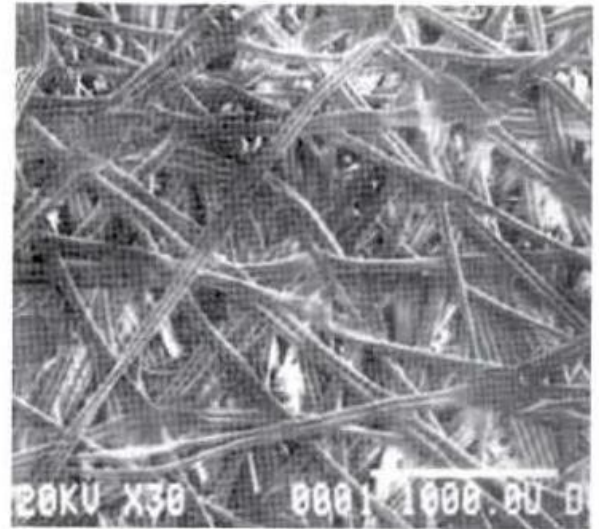
Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos de polipropileno mezclados aleatoriamente, conformando una capa textil con altas propiedades de filtración y drenaje.

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las des uniformidades de los

terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.



e. No Tejido punzonado por agujas



f. No Tejido unido por calor

**Figura 2. Muestras de algunos tipos de geotextiles No Tejidos**

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos (Novena edición 2012)

## B. Clasificación de los Geotextiles Según su Composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

### ✓ Fibras Naturales

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos.

### ✓ Fibras artificiales

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.



## ✓ **Fibras Sintéticas**

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a (os ataques de microorganismos y bacterias. Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

## **C. Funciones y Aplicaciones**

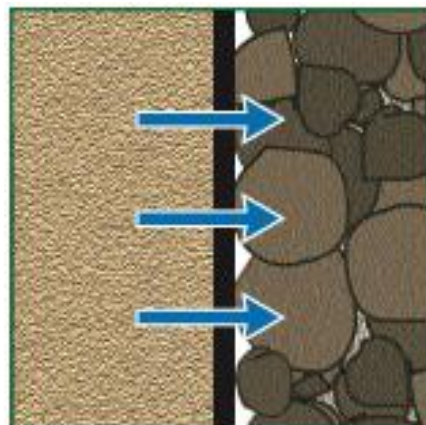
El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en los proyectos de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras.

A continuación, se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

## ✓ **Función de Separación**

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.



*Figura 3. Geotextiles – Función de Separación*

### ✓ **Función de Refuerzo**

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.



Figura 4. Geotextiles – Función de Refuerzo

#### ✓ Función de Drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido. Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales, al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar

el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

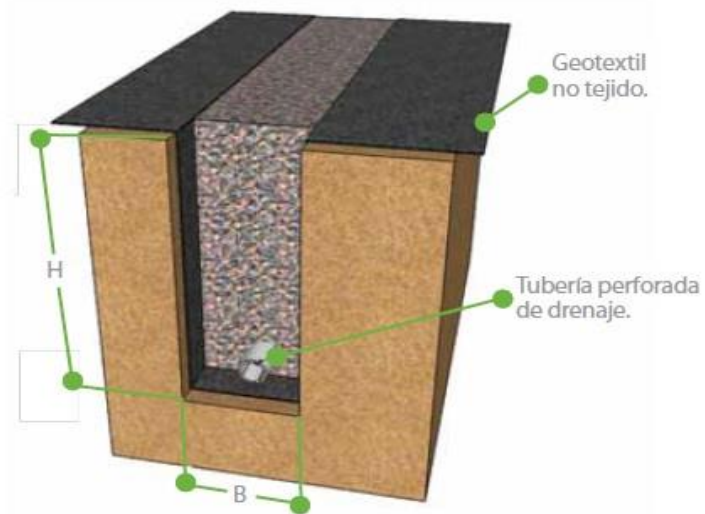


Figura 5. Geotextiles – Función de Drenaje

✓ **Función Filtro**

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases.

En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos

sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.



*Figura 6. Geotextiles – Función de Filtro*

### ✓ **Función Protección**

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.



*Figura 7. Geotextiles – Función de Protección*

✓ **Función de Impermeabilización**

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético. El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

Crea una capa impermeable, mediante la impregnación del geotextil con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas.



*Figura 8. Geotextiles – Función de Impermeabilización*

#### D. ENSAYOS REALIZADOS A LOS GEOTEXTILES

Para justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar. En nuestro caso que es en la impermeabilización de lagunas de estabilización de almacenamiento de líquidos residuales no existe normas peruanas que lo rigen pero en este capítulo se hace referencia a las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2001), basadas en las normas dadas por la ASTM, En cada norma se explicará el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y el procedimiento, con el fin de entender la importancia que tienen en las diferentes aplicaciones de los geotextiles:

##### ✓ DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO GRAB)

Está regida por la norma ASTM D-4632, consiste en aplicar a muestras de geotextiles Tejidos y No Tejidos una carga que se incrementa continuamente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura.

El equipo requerido para realizar el ensayo es el siguiente:

- a) Máquina para el ensayo de Tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y consta de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.
- b) Mordazas: las mordazas deben tener superficies de ajuste planas, paralelas y aptas para evitar el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga.

c) El número de muestras necesario para realizar el ensayo es de 10.

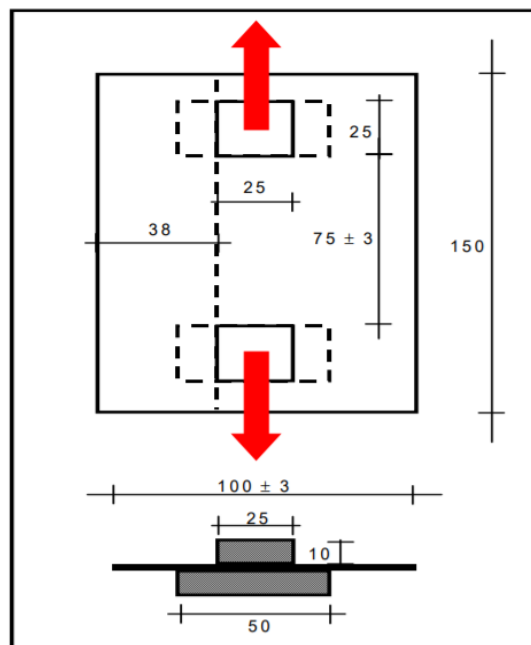
ENSAYO REALIZADO EN LABORATORIO

Las características dimensionales de la máquina y de las probetas, en los valores de velocidad de ensayo, lo que se expone.

**Tabla 1. Normas con su velocidad de ensayo**

Norma de ensayo	Velocidad de ensayo
DIN 53858	100mm/min
ASTM D 1682 - 4632	300mm/min
IRAM 78018	300mm/min

Este ensayo también llamado de resistencia a la tracción en carga concentrada, se diferencia del ensayo de tracción en tiras, en que el ancho de las probetas es mayor que la importa .de las mordazas de la máquina que tracciona la muestra.



**Figura 9. Geotextiles – Ensayos – Dimensión de las Probetas**

Este ensayo es la mayor simulación de las condiciones reales cuando sobre un Geosintético se presiona un elemento



punzante (piedra) en forma descendente, o se ejerce un esfuerzo lateral sobre el elemento (aun presionado), (LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2008)

## PROBETAS DE ENSAYOS

Se corta un mínimo de cinco probetas de ensayo, tanto en la dirección de producción como en la dirección transversal a la misma. Se prepara cada probeta de ensayo a un ancho nominal final de 200mm y de largo suficiente para asegurar 100mm entre las mordazas.

## EL PROCEDIMIENTO:

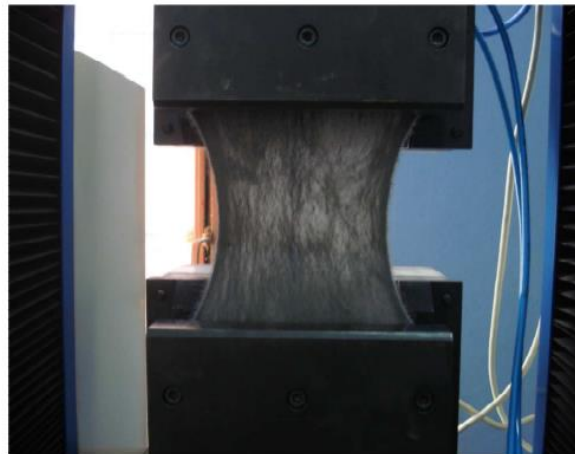
Consiste en sujetar en todo su ancho una probeta de geotextil, de 200 mm de ancho, que contiene una unión o una costura, entre las mordazas de una máquina de ensayo de tracción que funciona a una velocidad de alargamiento especificado. Se somete la misma a una fuerza longitudinal (perpendicular al eje de ensamblado), hasta la rotura de la liga, expresando la resistencia en kilo newton por metro.



*Figura 10. Geotextiles – Probetas a ensayar*



*Figura 11. Geotextiles – Ensayo de probetas*



*Figura 12. Geotextiles – Logrando la máxima resistencia*

✓ **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO DE GEOTEXTILES, GEOMEMBRANAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS.**

Está regida por la norma ASTM D-4833, establece que el método para determinar el índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados y consiste en colocar un espécimen sin tensión, entre las placas circulares del dispositivo anular de sujeción de la máquina de ensayo. Se aplica una fuerza en la parte central, mediante una barra de acero sólido, conectada al indicador de carga, hasta que se rompa el espécimen. La máxima fuerza registrada corresponde a la resistencia al punzonamiento.

(LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2009)

El equipo requerido para realizar este ensayo es el siguiente:

- a) Máquina para el ensayo de tracción — compresión: La máquina de ensayo es del tipo de coeficiente constante de extensión (CCE), con registrador gráfico.
  - b) Dispositivo anular de sujeción: el dispositivo consiste en dos placas concéntricas con un orificio de diámetro interno de  $45 \pm 0.025$  mm, que permite sujetar el espécimen sin que se deslice. Se sugiere que el diámetro externo sea  $100 \pm 0.025$  mm y el diámetro de los seis agujeros usados para asegurar el ensamble sea de 8 mm y que estén igualmente espaciados sobre una circunferencia de radio de 37 mm. Las superficies de estas placas pueden tener ranuras con anillos en "O" o papel de lija áspero pegado sobre ambas superficies.
  - c) Aditamento punzante: barra de acero sólido de un diámetro de  $8 \pm 0.01$  mm, con extremo plano con borde biselado de  $45^\circ = 0.8$  mm, que hace contacto con la superficie del espécimen de ensayo.
- ✓ **DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL DE GEOTEXTILES.**

Está regida por la norma ASTM D-4533, este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos, no tejidos, por el método trapezoidal. Esta norma describe el procedimiento para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles. La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas. En geotextiles no tejidos, debido a que las fibras están dispuestas de una forma más o menos aleatoria y son capaces de reorientarse en dirección a la

carga aplicada, la máxima resistencia al rasgado trapezoidal de la nueva reorientación se logra cuando se desarrolla una tensión mayor que la requerida para romper una o más fibras simultáneamente.

(LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2009)

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- a) Máquina de ensayo de tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante en el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.
- b) Mordazas: deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante el ensayo.

Las dimensiones de cada mordaza deben ser 50.8 mm por 76.2 mm (como mínimo), con la dimensión más larga perpendicular a la dirección de aplicación de la carga.

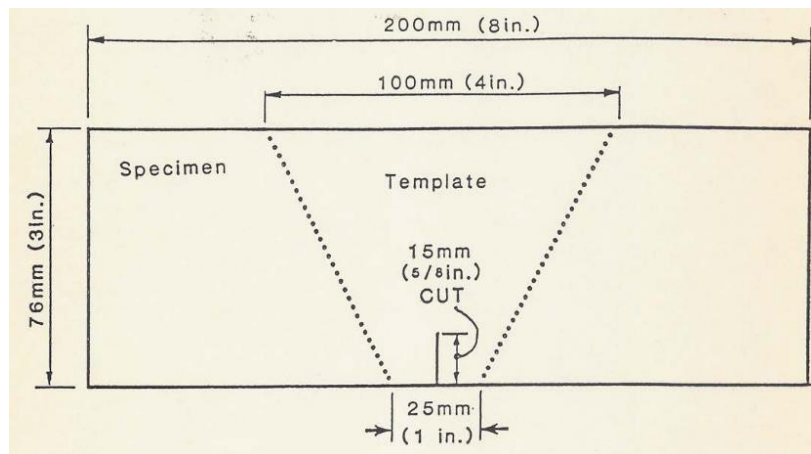
- c) Molde trapezoidal: este molde es opcional y se utiliza para marcar el espécimen.

El número de especímenes necesario es de 10, tomados a una distancia mínima de  $1/20$  del ancho a partir del borde de la tela o a 150 mm, escogiendo el menor. De cada muestra se cortan especímenes rectangulares de 76.2 mm por 201.6 mm. Se cortan sentido longitudinal y en sentido transversal.

## PROCEDIMIENTO

Se marca el contorno de un trapecio isósceles sobre una probeta rectangular del material de ensayo (Figura 13) sobre

uno de cuyos lados se hace un corte inicial. Se sujetan los lados no paralelos del trapecio marcado en las mordazas paralelas de una máquina de ensayo de tracción. Se incrementa la separación de las mordazas continuamente de manera que se propague el desgarro a través de la probeta. Se obtiene la resistencia al desgarro, como el máximo valor de la fuerza de desgarro, a partir de la curva fuerza alargamiento.



*Figura 13. Geotextiles – Plantilla para el ensayo del desgarro trapecial (mm)*

## PROBETAS

Se cortan probetas rectangulares de 76mm x 200mm. Se marca cada probeta con la plantilla trapecial. Se hace un corte preliminar de 15mm en el centro del lado de 25mm, como se muestra en la figura 3. Se toman 10 probetas en la dirección longitudinal y 10 probetas en la dirección transversal.

## ENSAYO

Se establece la distancia entre las mordazas al comienzo del ensayo en 25 mm. Se fija la velocidad de la máquina en 300mm/min. Se asegura la probeta de ensayo en las mordazas, sujetándola a lo largo de los lados no paralelos del trapecio de manera que los bordes de las mordazas estén en línea con el lado de 25mm de largo del trapecio, y el corte se encuentre a mitad de camino entre las mordazas. Se mantiene el borde corto tirante y se deja que la tela restante forme Pliegues. Se pone en

funcionamiento la máquina y se obtiene la fuerza de desgarro como la fuerza máxima alcanzada, medida en Newton.

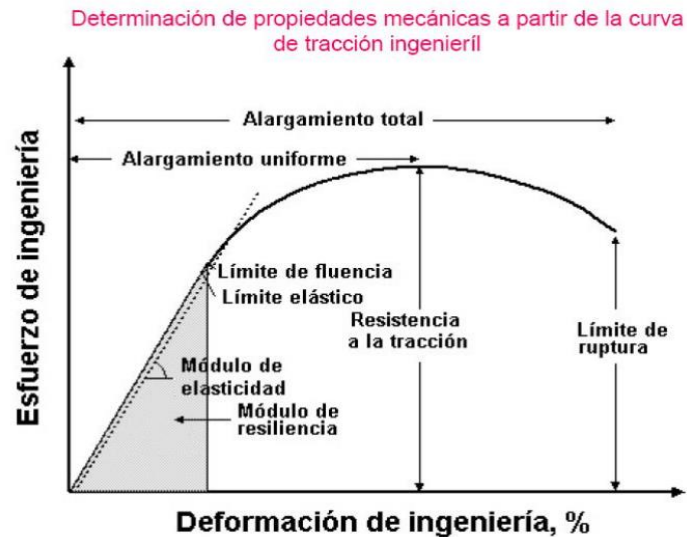


Figura 14. Geotextiles – Curvas características de fuerza de desgarro – alargamiento

#### DESARROLLO DEL ENSAYO

Durante el año se ensayaron geotextiles de distintos fabricantes por el método de desgarro trapezoidal siguiendo el procedimiento indicado anteriormente y fijado por la norma correspondiente. Luego de obtenidos los resultados, se hizo una comparación con estos valores y los estipulados por las empresas en sus cartillas técnicas.

#### ✓ DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA DE LOS GEOTEXTILES POR MEDIO DE LA PERMITIVIDAD.

Está regida por la norma ASTM 0-4491, proporciona procedimientos para determinar la conductividad hidráulica (permeabilidad al agua) de los geotextiles en términos de permitividad bajo condiciones de ensayo estandarizadas, sin someter el espécimen a carga normal. Esta norma incluye los procedimientos:

(LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad

tecnológica de la plata, 2009)

El ensayo de cabeza constante y el ensayo de cabeza variable.

- a) Ensayo de cabeza constante: se mantiene una cabeza de 50 mm de agua sobre el espécimen de geotextil durante el ensayo. Se determina el caudal por método volumétrico. El ensayo de cabeza constante es usado Cuando el caudal de agua que pasa a través del geotextil es tan grande que se dificulta tomar lecturas en el cambio de la cabeza con respecto al tiempo.
- b) Ensayo de cabeza variable: se establece una columna de agua que pasa a través del espécimen de geotextil y se toman las lecturas de los cambios de cabeza con respecto al tiempo. El caudal de agua a través del geotextil debe ser lo suficientemente lento para obtener medidas exactas

#### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

La apreciación del ensayo está ligada al comportamiento de la fluencia por compresión a largo plazo, con el fin de evaluar la capacidad de flujo a largo plazo.

#### PROBETAS:

Se cortan tres probetas de la muestra en sentido longitudinal y otras tres en sentido transversal, de manera que midan como mínimo 0,3m en la dirección longitudinal o de flujo y 0,2m en la dirección transversal de la máquina.

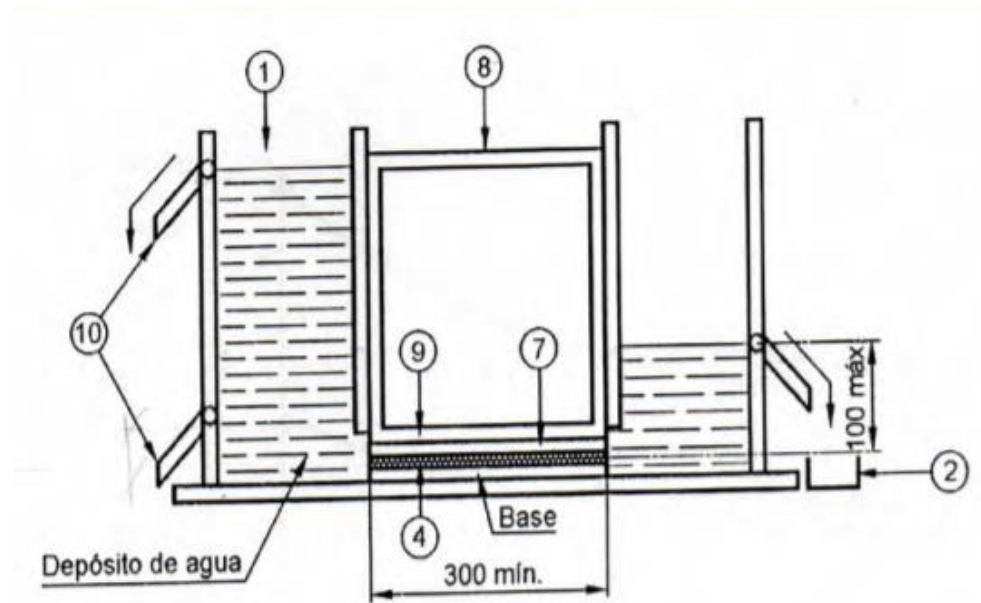


Figura 15. Geotextiles – Dispositivo para realizar el ensayo según norma

1. Alimentación de agua
2. Recipiente colector de agua
3. Probeta
4. Espuma de caucho impermeable
5. Carga
6. Placa de carga
7. Rebosaderos para gradientes hidráulicos 0,1 y 1,0

#### CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS:

Se calcula la permeabilidad al flujo de agua en el plano a 22°C mediante:

$$q \text{ esfuerzo} / \text{gradiente} = V \times R_t / W \times t$$

Siendo:

- q = Permeabilidad en el plano por unidad de ancho a un gradiente y esfuerzo definido en m<sup>2</sup>/seg.
- V = Volumen en m<sup>3</sup>
- R<sub>t</sub> = Factor de corrección de temperatura.



$W$  = Ancho de la probeta en metros.

$t$  = Tiempo en segundos.

LOS RESULTADOS PUEDEN SER REPRESENTADOS DE LA SIGUIENTE MANERA:

Los resultados pueden ser expresados como representación gráfica de la permeabilidad en el plano, en función del esfuerzo normal de compresión para los dos gradientes hidráulicos definidos.

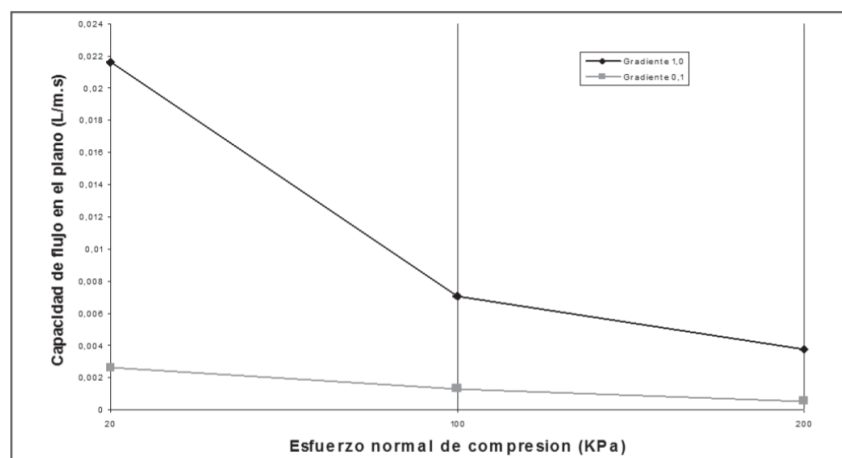


Figura 16. Geotextiles – Representación gráfica de la permeabilidad en el plano

## A. METOLOGIA DE DISEÑO DE GEOTEXTILES

Desde la aparición de los geosintéticos como nuevos materiales a emplear en la ingeniería geotécnica, se han desarrollado distintas metodologías de diseño las cuales pueden clasificarse en:

### ✓ DISEÑO POR ESPECIFICACIONES

En la actualidad cada fabricante obtiene el valor de las propiedades de su producto, utilizando las normativas que rigen el país donde esté ubicado; esto obviamente puede generar un gran número de criterios que hacen imposible el realizar comparación entre productos de uno u otro país. Por lo anterior, dos organismos la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el comité TASK FORCE #

25, el cual lo conforman la AASHTO; la American Building Contractors (ABC) y la American Road Builders and Transportation Association (ARBTA) están tratando de unificar todas las propiedades de estos materiales.

Cuando se utiliza el método de diseño por especificación a menudo se listan los requerimientos mínimos de las propiedades del geotextil, mientras que comúnmente el fabricante lista los valores promedios por lote o el valor mínimo promedio de las propiedades de los rollos. Comparando este valor de especificación con los valores listados por los organismos antes citados, no se está haciendo una comparación bajo el mismo criterio; esto porque el valor promedio es el resultado de los ensayos hechos por el fabricante de una propiedad en particular a su histórico de producción. Lo anterior puede ser una recopilación de miles de ensayos realizados a lo largo de varios meses o años de producción para un tipo de geotextil.

De esta forma el valor promedio del lote es considerablemente más alto que el valor mínimo en donde el valor intermedio entre estos dos extremos es el valor mínimo promedio del rollo o MARV.

El valor mínimo promedio del rollo es el promedio de un respectivo número de ensayos hechos con un número de rollos seleccionados del lote en cuestión, lo cual es un área limitada para evaluar una situación en particular. Este valor es probablemente dos desviaciones estándar menores que el promedio del lote. De esta forma se ve que el MARV es el mínimo de una serie de valores promedio límites de un rollo.

En resumen, el método de diseño de especificación debe ser comparado bajo un mismo criterio. En este intento, si se lista los valores mínimos promedio de los rollos, entonces la lista de fabricante de valores promedio deben ser reducidos con dos

variaciones estándar (aproximadamente 5 a 20%) estos promedios de valores de lote son tomados. Solamente el valor promedio mínimo de los rollos (MARV) tomados por el fabricante pueden ser comparados con la especificación de valores MARV uno a uno.

#### ✓ **DISEÑO POR FUNCIÓN**

Consiste en evaluar la función principal para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración o protección) y basándose en ello, calcular los valores numéricos de la propiedad requerida. De esta forma se realiza una elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. En algunos casos se requieren cumplir varias funciones alternativamente, por lo tanto, la selección del geosintético a emplear será más segura si este puede desarrollar las funciones simultáneamente.

Para que los geosintéticos puedan proporcionar un grado de seguridad suficiente en el desarrollo de sus funciones, su fabricación a partir de las materias primas debe ser estrictamente controlada mediante la evaluación de sus propiedades durante el proceso de fabricación.

No obstante, la forma en que el geosintético desarrollará sus funciones no depende únicamente del proceso de fabricación, sino que dependerá en gran parte de la correcta instalación en obra. De esto se deduce la necesidad de realizar una supervisión cuidadosa en la instalación del geosintético si se desea conseguir un completo desarrollo de sus funciones.

El factor de seguridad será el resultado de dividir el valor del ensayo típico de la propiedad relevante para la función principal (valor admisible), entre el valor requerido para dicha propiedad obtenido según algún método o norma de diseño representativo de la realidad.

Según lo anterior:

$$FS = \frac{\text{Valor Admisible}}{\text{Valor Requerido}}$$

Si el factor de seguridad así obtenido es suficientemente mayor que la unidad, el geosintético seleccionado es el adecuado.

En resumen, se pueden establecer los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del diseño por función:

1. Evaluar la aplicación del geosintético considerando los materiales que van a estar en contacto con él.
2. Dependiendo de las condiciones en la obra, escoger un factor de seguridad adecuado.
3. Especificar la función primaria del geosintético.
4. Calcular numéricamente el valor de la propiedad requerida del geosintético basándose en su función primaria.
5. Obtener el valor de la propiedad permisible por ensayo.
6. Calcular el factor de seguridad como cociente del valor de la propiedad permisible entre el valor de la propiedad requerida.
7. Comparar el factor de seguridad obtenido con el deseado.
8. Si el factor de seguridad no es aceptable, reiniciar el proceso con un geosintético de características superiores.
9. Si el factor de seguridad es aceptable, comprobar si otras funciones del geosintético pueden ser críticas o relevantes y escoger el más completo.

## **B. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE GEOTEXILES**

La elección del tipo de geotextil para nuestro proyecto dependerá de: la Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales

para Construcción de Carreteras.

Haciendo referencia la norma de caminos por no existir normas para proyectos hidráulicos así también tomando datos como referencia en el diseño del geotextil.

✓ **SECCIÓN 650 DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

El geotextil deberá cumplir con los requerimientos de la Tabla 650-1 de la Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras. La elección de la Clase del geotextil para esta aplicación está determinada por su habilidad de sobrevivir los daños de instalación. Los requerimientos hidráulicos dependen de la función del geotextil y las características del subsuelo, y se presentan a continuación en la Tabla 650-1, Tabla 650-3 (Separación) y la Tabla 650-4 (Estabilización).

**Tabla 2. Geotextiles – Requerimientos de Supervivencia**

Propiedades	Métodos de Ensayos	Unid	Requerimientos (MARV)					
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
			E <50%	E >50%	E <50%	E >50%	E <50%	E >50%
Resistencia a Tracción "Grab"	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia al Rasgado	ASTM D 4533	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia Burst	ASTM D 3786	kPa	5500	1700	2700	1300	2100	950
Resistencia a la Costura	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450

E = Elongación

FUENTE: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (tabla N° 650-1) MTC - 2001.

**TABLA 650-3. REQUERIMIENTOS DE GEOTEXILES EN APLICACIONES DE SEPARACIÓN**

Geotextiles Clase 2 son generalmente especificados en obras viales donde la función principal del geotextil es separación, corresponde a requerimientos de sobrevivencia normal bajo condiciones de instalación de severidad media; subsuelos con CBR 3% (esfuerzo cortante superior aproximadamente a 90 kPa).

*Tabla 3. Geotextiles – Aplicaciones de Separación*

CLASE DE GEOTEXTIL: Clase 2 de la Tabla 850-1			
Propiedades	Métodos de Ensayos	Unidad	Requerimientos (MARV *)
Permisividad	ASTM D 4991	seg <sup>-1</sup>	0.02
Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.60 valor máximo del rollo muestreado
Resistencia retenida UV	ASTM D 4355	%	50% de resistencia después de 500 horas de exposición

\* MARV = Promedio — 2 (Desviación Estándar). No se permite el uso de valores típicos o promedios.

FUENTE: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, MTC (2001)

**TABLA 650-4. REQUERIMIENTOS DE GEOTEXILES EN APLICACIONES DE ESTABILIZACIÓN**

Geotextiles Clase 1 son generalmente especificados en obras viales donde la función principal del geotextil es estabilización, y corresponde a requerimientos de sobrevivencia bajo condiciones severas; subsuelos con CBR entre 1% y 3% ( $1\% \leq \text{CBR} < 3\%$ ) (Esfuerzo cortante entre aproximadamente 30 kPa y 90 kPa).

**Tabla 4. Geotextiles – Aplicaciones de Estabilización**

CLASE DE GEOTEXTIL: Clase 1 de la Tabla 650-1			
Propiedades	Métodos de Ensayos	Unidad	Requerimientos (MARV *)
Permisividad	ASTM D 4991	seg <sup>-1</sup>	0.05 <sup>(2)</sup>
Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.43 valor máximo del rollo maestreado
Resistencia retenida UV	ASTM D 4365	%	50% de resistencia después de 500 horas de exposición

\* MARV = Promedio — 2 (Desviación Estándar). No se permite el uso de valores típicos o promedios.

FUENTE: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, MTC (2001)

## II.2.2. GEOMEMBRANAS

Las Geomembranas son productos Geosintéticos en forma laminar, continua y flexible, utilizadas como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos en proyectos ambientales o de ingeniería civil, específicamente diseñadas para condiciones expuestas a rayos UV. Pueden ser fabricadas a base de diversos polímeros, siendo las más comunes las Geomembranas de Polietileno (HDPE - LLDPE), las cuales poseen propiedades mecánicas apropiadas, alta resistencia física, gran inercia química, aislamiento eléctrico alto, no absorben humedad y son inertes a agentes biológicos. Este es el tipo de Geomembranas más utilizadas por su precio y versatilidad.

Es conveniente hacer énfasis en que todos los materiales tienen permeabilidad, y que se distinguen dos tipos: la primaria, que corresponde a la del flujo a través de un medio homogéneo y la secundaria que ocurre a través de discontinuidades.

Las geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos.

Las geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material.

#### ✓ **CLASIFICACIÓN DE LAS GEOMEMBRANAS**

Igualmente existen membranas con características técnicas especiales; por ejemplo, geomembranas de polietileno de alta flexibilidad para el recubrimiento de túneles; de geomembranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a impermeabilizar tienen pendientes importantes; de geomembranas con aditivos especiales para retardar la combustión en aplicaciones donde se requieran materiales de construcción con flamabilidad controlada.

#### ✓ **Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**

Las Geomembranas HDPE son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluidos ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta (se utiliza principalmente en zonas expuestas a la intemperie), presentan altas propiedades mecánicas para la supervivencia frente a los esfuerzos de instalación en obra. Su permeabilidad, muy baja, le permite actuar como barrera al paso de fluidos y gases.



*Figura 17. Geomembranas de Alta Densidad (HDPE)*



### ✓ Geomembranas de Polietileno Ultra flexible (LLDPE)

Estas Geomembranas, además de cumplir con las propiedades químicas de las Geomembranas HDPE, presentan una flexibilidad muy alta con un compendio de propiedades adecuadas para un gran número de aplicaciones, entre las que cabe destacar, sellado de vertederos y balsas de agua en terrenos conflictivos con riesgo de movimientos del soporte. De preferencia se utiliza generalmente en zonas no expuestas a la intemperie.



*Figura 18. Geomembranas de Baja Densidad (LLDPE)*

### ✓ PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación consiste en la producción de rollos de láminas de espesores que usualmente fluctúan entre 0.50mm-1.50mm y cuyas dimensiones están comprendidas alrededor de los siete metros de ancho y una longitud tal que el peso del rollo, por motivos prácticos, no exceda de dos toneladas.

La fabricación de las láminas es llevada a cabo por la extrusión conjunta del polímetro puro más una dosis controlada de polímetro con contenido de negro de humo y aditivos, compuestos por antioxidantes y lubricantes que garantizan una larga duración; incluso en condiciones de exposición a la intemperie.

Posteriormente, la mezcla pasa por el proceso de laminación, a continuación, se mencionan los más comunes:

### **1. Fabricación por extrusión plana**

El proceso de fabricación por extrusión plana, consiste básicamente en el paso forzado de la resina extruida entre dos barras de bordes paralelos, cuya separación da el espesor de la lámina.

### **2. Fabricación por soplado**

Este proceso consiste en la obtención de la lámina por medio de la extrusión de la resina entre las paredes de dos anillos concéntricos. De este modo resulta un manto cilíndrico de polietileno en el cual, el espesor de la lámina es controlado indirectamente, a través del caudal extruido y de la velocidad de enrollado. Esta manga es cortada longitudinalmente, obteniéndose así una lámina plana de ancho igual al perímetro del manto cilíndrico.

La lámina básica descrita anteriormente puede ser sometida a procesos posteriores o simultáneos a su fabricación para otorgar características especiales a una o ambas superficies de la lámina. Algunos ejemplos son el proceso de texturización de las superficies, con el fin de obtener láminas con un mayor coeficiente de fricción.

## **✓ FUNCIONES Y APLICACIONES**

### **1. Manejo de Desechos Urbanos**

- Rellenos sanitarios.
- Zonas de almacenamiento para el tratamiento de suelos contaminados.

El diseño de rellenos sanitarios, hoy en día, se hace

utilizando una amplia gama de productos Geosintéticos para maximizar la eficacia, integridad y comportamiento de este tipo de proyectos, al mismo tiempo que permite minimizar costos.

## 2. Industria Petrolera y Gasífera

- Depósitos de contención secundarios.
- Protección de diques.
- Depósitos de lodos industriales.

Las Geomembranas son utilizadas comúnmente en el almacenamiento de combustibles o líquidos peligrosos para la construcción de contenedores secundarios, diseñados con el fin de evitar la contaminación del suelo cuando exista la posibilidad de un derrame de los tanques de almacenamiento primario. La construcción de dichas áreas de contención secundaria se ha convertido en una práctica común, debido a que cada día se hace mayor énfasis en la protección del medio ambiente.

La utilización de las Geomembranas es una opción muy económica y duradera para este tipo de proyectos, debido a la alta resistencia que ellas presentan a la degradación que se puede generar por reacciones químicas y exposición a los rayos UV.

## 3. Operaciones Mineras

- Plataformas de lixiviación en pilas.
- Diques de contención de residuos mineros.
- Depósitos de salmueras.
- Depósitos de relaves.

Las prácticas de minería actuales requieren de un alto desempeño en los sistemas de revestimiento para contención de líquidos, lo cual puede ser logrado a través de la

utilización de Geomembranas.

El componente esencial de un patio de lixiviación es la capa impermeable primaria, construida comúnmente con Geomembranas, la cual sirve para un doble propósito:

el de confinar los lixiviados para su recolección, y el de proteger los recursos subterráneos y el nivel freático del suelo para evitar su contaminación.

#### **4. Sector Acuífero**

- Piscicultura.
- Depósitos de contención.
- Canales de irrigación.
- Reservorios de agua potable.

El rendimiento de los estanques, depósitos y canales de derivación, utilizados para la crianza de peces y camarones, se puede mejorar considerablemente por medio del uso de revestimientos impermeables con Geomembranas que reemplazan los sistemas tradicionales de revestimiento de arcillas o concreto y, en términos de explotación y costos, ofrecen ventajas importantes como:

#### **5. Arquitectura Paisajística y Recreativa**

- Piscinas para proyectos paisajísticos.
- Estanques y lagos artificiales.

Las Geomembranas son utilizadas comúnmente en la construcción de lagunas artificiales de diversos tamaños y formas, así como en proyectos de jardines y campos de golf, donde las lagunas artificiales proveen beneficios tanto estéticos como prácticos al almacenar grandes cantidades de agua utilizada para el riego del césped.

La utilización de Geomembranas en la construcción de

lagunas artificiales, proveen una solución más económica y duradera que asegura la contención del agua, incluso en lugares de riesgo sísmico donde pueden presentar asentamientos diferenciales y los sistemas convencionales de revestimiento se pueden agrietar.

**Tabla 5. Métodos de Ensayos Destructivos y No Destructivos más comunes en Geomembranas**

GEOMEMBRA	MÉTODOS DE ENSAYO	
MATERIAL	ENSAYO DESTRUCTIVO	ENSAYO NO DESTRUCTIVO
Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	Tracción (ASTM D6392)	Prueba de Aire (ASTM D4437 y D5820) Prueba de Vacío (ASTM D4437 y D5641) Prueba de Chispa Eléctrica (ASTM D6365) Prueba de Picado
Polietileno de Baja Densidad (LLDPE)	Tracción (ASTM D6392)	Prueba de Aire (ASTM D4437 y D5820) Prueba de Vacío (ASTM D4437 y D5641) Prueba de Chispa Eléctrica (ASTM D6365) Prueba de Picado

## ✓ METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE GEOMEMBRANAS

### GENERALIDADES

El crecimiento en la conciencia ambiental, así como el desarrollo de nuevas tecnologías es claramente una facilidad en el control de agentes contaminantes, no sólo en el manejo de basuras, sino también en el manejo de residuos producidos por las grandes industrias. Es así como las geomembranas ayudan al desarrollo ambiental y a la protección del ecosistema.

Las geomembranas representan el segundo grupo más importante de geosintéticos en ventas detrás de los geotextiles, sin embargo en volúmenes de dinero son las geomembranas las que ocupan el primer lugar. Las geomembranas en si son hojas delgadas de materiales poliméricos utilizados principalmente como recubrimientos y cubiertas de almacenamiento de materiales sólidos y líquidos.



*Figura 19. Empleo en Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales*

Las geomembranas han sido empleadas en proyectos tales como cubiertas flotantes, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, reservorios, pondajes, recubrimientos expuestos a la luz solar en taludes, impermeabilización de superficies, etc. Su durabilidad es estimada de acuerdo a la vida útil que sea especificada por el fabricante, comúnmente para geomembranas HDPE (Polietileno de alta densidad) o LLDPE (Polietileno de baja densidad) se considera alrededor de 20 años. Otros tipos de geomembranas que de igual manera son generalmente usadas poseen una menor vida útil expuestas a la luz solar y por lo tanto deben ser cubiertas con suelo o con material de sacrificio, como puede ser un geotextil reemplazable.

### **METODOLOGÍA DE DISEÑO**

La metodología que se presenta a continuación permite seleccionar la geomembrana más adecuada para ser instalada como barrera impermeable, garantizando la protección del ecosistema en cada una de las aplicaciones como pueden ser en rellenos sanitarios, en recolección de lodos generados de los procesos industriales, en lagunas de oxidación, etc.

El diseño por función consiste en evaluar la principal aplicación para la cual se utiliza la geomembrana y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular. En el caso del diseño para la geomembrana, se comparan las resistencias del material con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad,

obteniendo un factor de seguridad global FS<sub>g</sub>.

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_g > 1$$

Dónde:

**Resistencia Admisible:** Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.

**Resistencia Requerida:** Valor obtenido del cálculo mediante una metodología diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

#### ✓ DISEÑO POR ESPESOR DE GEOMEMBRANAS

El espesor necesario de una geomembrana dependerá del polímero con que esté fabricada dicha membrana debido a los comportamientos tan distintos a la fluencia de cada uno de los materiales. Para el cálculo del espesor se realiza un equilibrio límite teniendo en cuenta la posible deformación en la geomembrana como se muestra a continuación:

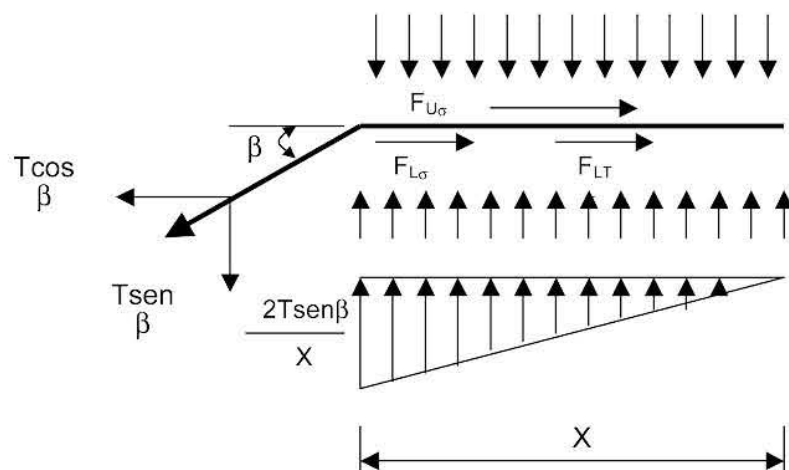


Figura 20. Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la Geomembrana

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos, Novena edición, 2012.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T \cos \beta = F_{Us} + F_{Ls} + F_{LT}$$

$$T \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U(x) + \sigma_n \tan \delta_L(x) + 0.5 (2T \sin \beta / x) (x) \tan \delta_L$$

$$T = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad (01)$$

La tensión inducida en la geomembrana es igual al esfuerzo admisible por

el espesor.

$$T = S_{adm} t$$

Donde:

T = Tensión movilizadora en la geomembrana

S<sub>adm</sub> = Esfuerzo admisible en la geomembrana

t = Espesor de la geomembrana

Entonces reemplazando estos valores en la ecuación (01) se tiene que:

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)} \quad (02)$$

Donde:

b = Angulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal

F<sub>Us</sub> = Fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta (para suelos de cubierta demasiado delgados, la fracturación de este puede ocurrir por tensión, en estos casos este valor suele ser despreciable)

F<sub>Ls</sub> = Fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta

F<sub>LT</sub> = Fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible

S<sub>n</sub> = Esfuerzo aplicado por el material de relleno



- du = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321)
- d<sub>L</sub> = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)
- X = Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

**Tabla 6. Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana – geotextil según ensayo ASTM D 5321**

Tipo de geomembrana	Tipo de geotextil No tejido punzonado	Tipo de suelo - arena		
		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizada	32°	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

**Tabla 7. Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE vs. espesor**

Espesor de geomembrana HDPE	Distancia de movilización
(mm)	(mm)
0.75	30
1.50	50

✓ **ESTABILIDAD DE COBERTURA DEL RELLENO**

Las geomembranas por lo general deben ser recubiertas, con el recubrimiento se busca protección adicional contra la oxidación, protección contra la degradación ultra-violeta, protección contra las altas temperaturas que incrementan la alta degradación, protección contra el punzonamiento y el rasgado por materiales angulares, protección ante posibles daños accidentales o intencionales. Usualmente se suelen cubrir con espesores pequeños de suelo, que generalmente tienen la tendencia a deslizarse sobre los taludes, motivo por el cual este chequeo se

basa en las condiciones de equilibrio límite entre el subsuelo, la geomembrana y el suelo de recubrimiento asumiendo que estos tienen un espesor uniforme.

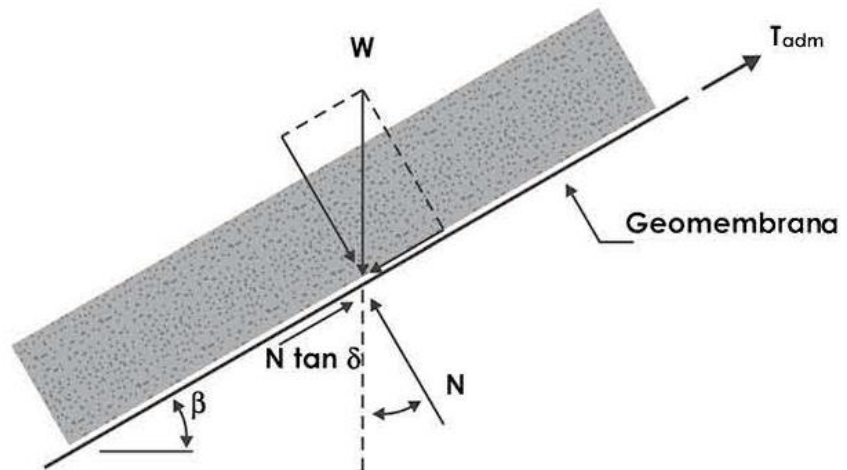


Figura 21. Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante

Para realizar el cálculo de la estabilidad de la cobertura se chequea un F.S. por equilibrio límite.

$$FS = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuales}}$$

$$FS = \frac{N \tan \delta_U (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)}$$

$$FS = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_U (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)} \quad (03)$$

Donde:

W = Peso del material de relleno

b = Angulo de inclinación del talud con la horizontal

du = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior

$L$  = Longitud de la inclinación

$T_{adm} = s_n * t$ , Fuerza de tensión en la geomembrana

Se obtienen diferentes factores de seguridad para diferentes longitudes de inclinación y se escoge la longitud con la cual se obtenga un FS mínima de 1 para garantizar que no habrá deslizamiento de la capa de suelo.

✓ **DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE**

Para este chequeo, se tiene en cuenta un estado de esfuerzos dentro de la zanja de anclaje y su mecanismo de resistencia. En la profundidad de la zanja de anclaje se tienen fuerzas laterales actuando sobre la geomembrana, más específicamente una presión activa de tierras tendiendo a desestabilizar el sistema y una presión pasiva de tierra que lo tiende a soportar.

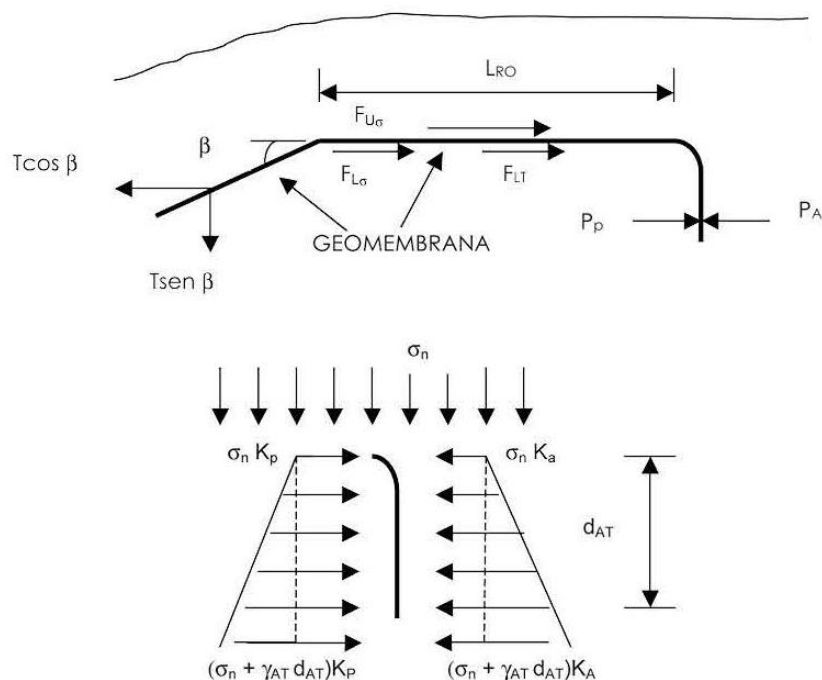


Figura 22. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_{adm} \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} - P_A + P_P$$

$$T_{adm} \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U (L_{RO}) + \sigma_n \tan \delta_L (L_{RO}) + 0.5 (2T_{adm} \sin \beta / L_{RO}) (L_{RO}) \tan \delta_L - P_A + P_P$$

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad (04)$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

L = Longitud de desarrollo

P<sub>A</sub> = Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje

P<sub>P</sub> = Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje

g<sub>AT</sub> = Peso Específico del suelo de la zanja de anclaje

d<sub>AT</sub> = Profundidad de la zanja de anclaje

σ<sub>n</sub> = Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura

K<sub>A</sub> = Coeficiente de presión de tierra activa = tan<sup>2</sup>(45 - Ø/2)

K<sub>P</sub> = Coeficiente de presión de tierra pasiva = tan<sup>2</sup>(45 + Ø/2) = 1/K<sub>A</sub>

Ø = Angulo de fricción del suelo respectivo.

Entonces resolviendo para la ecuación (04) se tendrían dos incógnitas, motivo por el cual es necesario asumir una de las dos variables y calcular la otra en un proceso iterativo, hasta que se encuentre un dato consistente constructivamente viable tanto para la longitud de desarrollo (L<sub>RO</sub>) como para la

profundidad de la zanja de anclaje ( $d_{AT}$ ).

#### ✓ **CHEQUEO POR SUPERVIVENCIA**

Después de haber escogido la geomembrana aplicando la metodología de diseño, se debe considerar adicionalmente procesos de transporte, manejo e instalación, los cuales están fuera del alcance del diseñador. Únicamente mediante especificaciones estrictas y un aseguramiento de la calidad en la construcción, La geomembrana puede sobrevivir la instalación y cumplir adecuadamente con la función para la cual fue especificada e instalada.

Mientras una geomembrana es transportada, manipulada e instalada, puede ser vulnerable al rasgado, punzonamiento e impacto. Situaciones como, caída de herramientas sobre el material, tránsito de personas sin un calzado adecuado, automóviles o camiones sobre la geomembrana sin material de protección, fuertes vientos, entre otros, son situaciones "comunes" durante el proceso de instalación. Estos eventos pueden ocurrir accidentalmente, por vandalismo o por la falta de cuidado en el trabajo de instalación. En la tabla 2.4 se relacionan algunas propiedades mecánicas de la geomembrana, resistencia a la tensión, susceptibilidad al rasgado, punzonamiento y daño por impacto.

La Tabla nos muestra valores a cuatro grados diferentes de supervivencia.

**Tabla 8. Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación**

Propiedad física y método de laboratorio	Grado requerido de supervivencia			
	Bajo <sup>1</sup>	Medio <sup>2</sup>	Alto <sup>3</sup>	Muy alto <sup>4</sup>
Espesor (D5199), mils (mm)	20 (0.50)	30 (0.75)	40 (1.0)	60 (1.5)
Tensión (D6693), Lb/pulg (KN/m)	46 (8.0)	69 (12)	91 (16)	137 (24)
Rasgado (D1004), Lb (N)	15 (67)	22.7 (101)	30.3 (135)	45.6 (203)
Punzonamiento (D4833), Lb (N)	36 (160)	60 (268)	80 (357)	120 (536)
Impacto (D3998 mod), J	10	12	15	20

Fuente: Designing With Geosynthetics 5ta. Edición. Robert Koerner.

**1 Bajo:** se refiere a una cuidadosa instalación a mano sobre un terreno bien gradado y uniforme con cargas leves de naturaleza estática. Típicos usados como barreras de vapor bajo trozos de piso.

**2 Medio:** se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas medianas. Generalmente usados para canales.

**3 Alto:** se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas altas. Generalmente usados para suelos de relleno y coberturas.

**4 Muy Alto:** se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una textura muy pobre con cargas altas. Típicamente usados para reservorios y rellenos sanitarios.

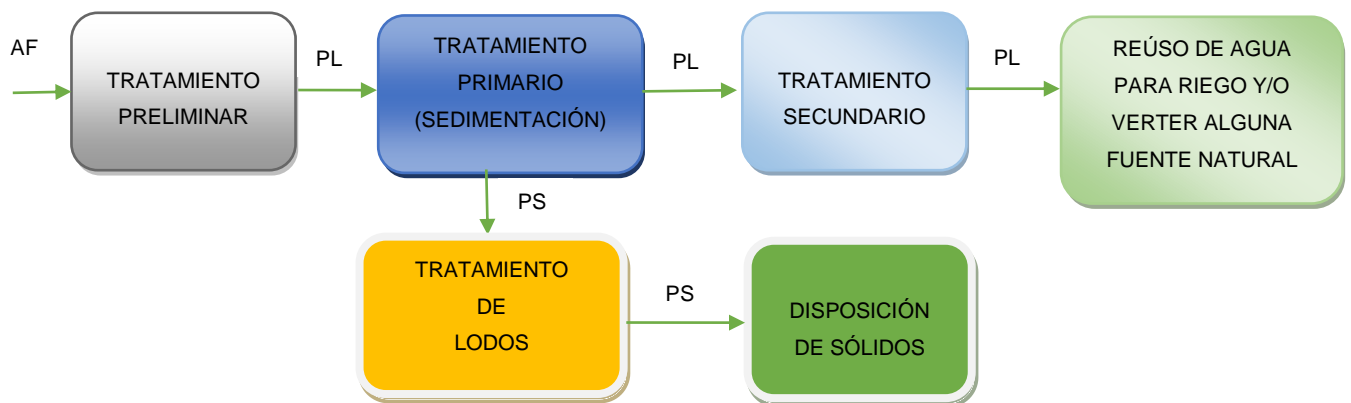
### II.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### ASPECTOS TEORICOS

La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Baños del Inca, se tomarán en cuenta temas relacionados como ambientales y sanitarios, aplicando el diseño de Los geosintéticos.

Pero también se hace mención el tratamiento de las aguas residuales y el reúso en actividades agrícolas, por lo tanto, el circuito de los componentes básicos de una planta de tratamiento se especifica con sus respectivas características.

La clasificación de los tratamientos se resume en la figura el nivel de tratamiento recomendable dependerá del uso final de las aguas tratadas y también se relacionará con el factor económico.



AF=AFLUENTE  
PS= Porción solido  
PL= Porción liquida

Componentes Básicos de tratamiento de aguas residuales

Figura 23. Circuito de los componentes básicos de una Planta de Tratamiento de aguas residuales

## FACTOR DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

El diseñador de lagunas de estabilización, como cualquier otro diseñador desea tener un margen o factor de seguridad que le garantice que la estructura que está proyectando va a funcionar sin problemas.

En el caso de lagunas de estabilización, no es tan fácil encontrar este factor de seguridad. Las lagunas se enfrentan a dos requerimientos críticos: carga orgánica y balance hídrico, tan importante es procurar una carga orgánica adecuada como lograr un balance hídrico apropiado. La mayoría de las lagunas de estabilización que no han logrado cumplir su objetivo, ha sido por causa de un balance hídrico inadecuado. Son pocas las lagunas que han fallado por aplicarles una carga orgánica mal calculada, pues el diseño por carga orgánica es más flexible que por balance hídrico. Entre más grande hagamos una laguna, más nos vamos del lado de la seguridad desde el punto de vista de carga orgánica, pero más la comprometemos desde el punto de vista del balance hídrico. El balance hídrico suele ser dado por la ecuación siguiente, (AYALA & GONZALES 2008).

$$Q_e = Q_a + P_r + P_c - E - P_e \text{ ----- (05)}$$

Dónde:

$Q_e$  = Caudal efluente

$Q_a$  = Caudal afluente de aguas residuales

$P_r$  = Precipitación que cae sobre la laguna

$P_c$  = Infiltración de agua subterránea hacia la laguna (sucede cuando el nivel freático esta sobre el de la laguna)

$E$  = Evaporación

$P_e$  = Perdidas por percolación (sucede cuando el nivel freático está por debajo de las lagunas y estas no se han sellado). Las cantidades anteriores se pueden trabajar en (m<sup>3</sup>/día o lts/día).



Analizando el mes crítico (de menos lluvia, del nivel freático muy bajo, de mayor evaporación) el valor de  $Q_e$  tiene que ser positivo es aquí donde algunas veces se hace necesario reducir el área de las lagunas, y el diseño del lado de la seguridad consiste en hacer lagunas más pequeñas (en área total) y no más grandes como supondría quien haga un análisis superficial del problema.

Si en su primer tanteo durante un diseño obtenemos un valor de  $Q_e$  negativo quedan varias alternativas; entre ellas, impermeabilizar la laguna con material arcilloso o membranas sintéticas. Pero hay un recurso que puede ser más económico, y este consiste en usar lagunas anaeróbicas. Un sistema de lagunas con lagunas anaeróbicas primarias puede tener un 60 % del área de uno equivalente que use solo lagunas facultativas; lo cual es muy importante desde el punto de vista de balance hídrico. En casos extremos se pueden usar lagunas anaeróbicas primarias y secundarias, con lo cual el área puede llegar a ser hasta un 40 % de la de un sistema equivalente que no use lagunas anaeróbicas. En zonas muy céntricas donde no sea aconsejable el uso de lagunas anaeróbicas, estas podrían ser sustituidas por lagunas aireadas mecánicamente.

Recuérdese que un buen diseño no consiste en hacer muchas lagunas en serie o lagunas muy grandes si no en lograr la adecuada remoción de cargas orgánicas y patógenas con un balance hídrico positivo aun en la época crítica desde el punto de vista hídrico. (AYALA & GONZALES 2008).

### **CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS Y MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO.**

Existen varias formas de clasificar lagunas, de acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser:

- Lagunas Anaerobias
- Lagunas Aireadas
- Lagunas de Maduración
- Lagunas Facultativas

No existe un límite exacto al cual se pueda garantizar si una laguna va a trabajar como facultativa o como anaeróbica. Es conveniente que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones definidamente facultativas o exclusivamente anaerobias, ya que el oxígeno es un tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso. Por consiguiente, se recomienda diseñar las lagunas facultativas (a 20 °C) para cargas orgánicas menores de 300 kg DBO/ha/día y las lagunas anaerobias para cargas orgánicas mayores de 1000 kg DBO/ha/día. Cuando la carga orgánica aplicada se encuentra entre los dos límites antes mencionados, se pueden presentar malos olores y la presencia de bacterias formadoras de sulfuros.

#### ➤ **LAGUNAS ANAERÓBICAS**

Cuando la carga orgánica es muy grande (>1.000 kg de DBO/ha/día), la DBO excede la producción de oxígeno de las algas (y de la aireación superficial) y la laguna se torna totalmente anaerobia. Estas lagunas anaeróbicas son estanques de mayor profundidad (2.5 a 4 m.) y reciben cargas orgánicas más elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles.

En estas condiciones estas lagunas actuaran como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y, debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica y requiere de otro proceso de tratamiento. En cuanto al mecanismo de degradación, este es similar al proceso de contacto anaerobio, con dos etapas bien diferenciadas que dependen del desarrollo de dos grupos específicos de bacterias. Un grupo de bacterias heterótrofas facultativas reducen la materia orgánica, las grasas y las proteínas a ácidos orgánicos, ácidos grasos, aldehídos, alcoholes, amoníaco, etc. Y un segundo grupo compuestas por bacterias productoras de metano transforman los productos intermedios, ácidos orgánicos en metano, dióxido de carbono e hidrogeno.

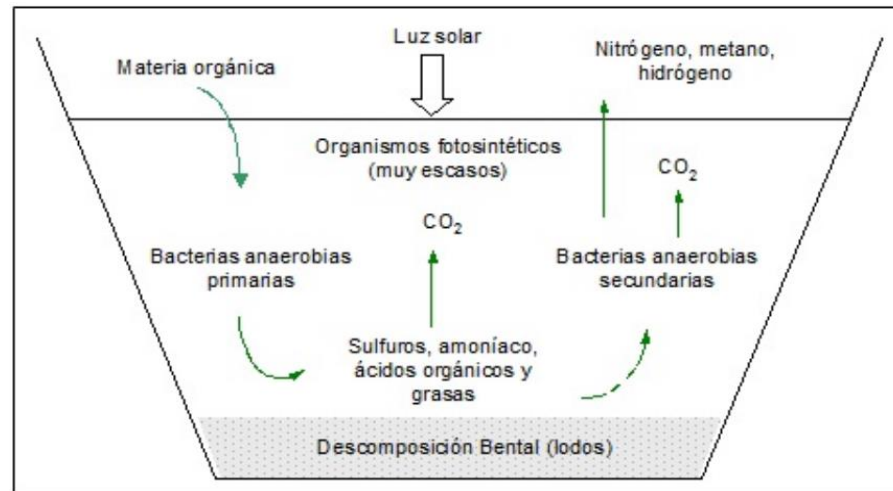


Figura 24. Esquema de una Laguna Anaeróbica Profunda

➤ **LAGUNAS AIREADAS**

Las lagunas aireadas mecánicamente constituyen una herramienta muy útil en ciertas circunstancias, pues requieren menos área que las facultativas y las anaeróbicas, no producen malos olores y son eficientes en la remoción de DBO. Esto las hace apropiadas donde el lugar destinado al tratamiento es muy céntrico, o donde el valor del terreno es muy alto. A cambio de sus ventajas hay un costo, este consiste en la inversión requerida para comprar el equipo aireador y el gasto mensual de operación y mantenimiento, en el que la partida más importante la constituye el consumo de energía del equipo aireador.

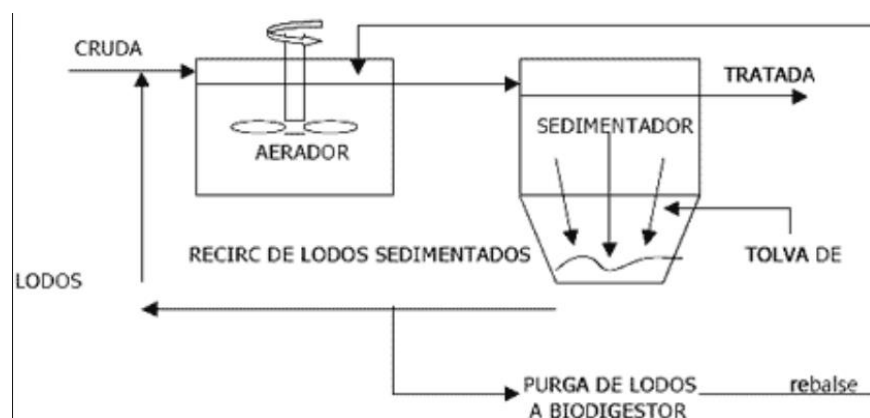


Figura 25. Esquema de una Laguna Aireada

La energía que es necesario pagar en una laguna aireada mecánicamente, es suministrada gratuitamente por el sol en el caso de una laguna facultativa. Esto hace que, donde existan espacio y terreno a bajo costo las lagunas aireadas sean contraindicadas. No obstante, pueden constituir una gran solución en el caso de desechos industriales que, por su carácter ácido, caústico o tóxico, no sean favorables al uso de las lagunas facultativas.

### ➤ **LAGUNAS DE MADURACIÓN**

Las lagunas de maduración o pulimento, en general prosiguen de un proceso de laguna facultativa primaria o secundaria, están diseñadas principalmente para el tratamiento terciario, es decir, la eliminación de patógenos, nutrientes y posiblemente algas. Forman parte de las lagunas de Oxidación o estabilización por lo que tiene características y procesos de construcción similares.

Son muy poco profundas (por lo general 0,9 a 1 m de profundidad), para permitir la penetración de la luz a la parte inferior y condiciones aeróbicas durante toda la profundidad. La carga en el estanque de maduración se calcula sobre la suposición de que 80% de la DBO se ha eliminado en el tratamiento anterior.

Básicamente, es una laguna aerobia y el proceso se realiza mediante la simbiosis entre algas y bacterias.

El tamaño y el número de lagunas de maduración necesarias, se determina por el tiempo de retención requerido para alcanzar una concentración de patógeno efluente especificado. Puede ser necesaria más de una laguna de maduración con el fin de lograr el nivel deseado de remoción de coliformes fecales. Si los límites no son tan estrictos para patógenos, las lagunas de maduración actúan como un amortiguador en caso de falla en el proceso anterior, y son útiles para la eliminación de nutrientes.

Si se utiliza un sistema lagunar de proceso anaeróbico y laguna facultativa secundaria, esto producirá un efluente apto sólo para el riego restringido. Por lo tanto, se necesitan lagunas de maduración adicionales si se requiere una mayor calidad de efluente para el riego sin restricciones.

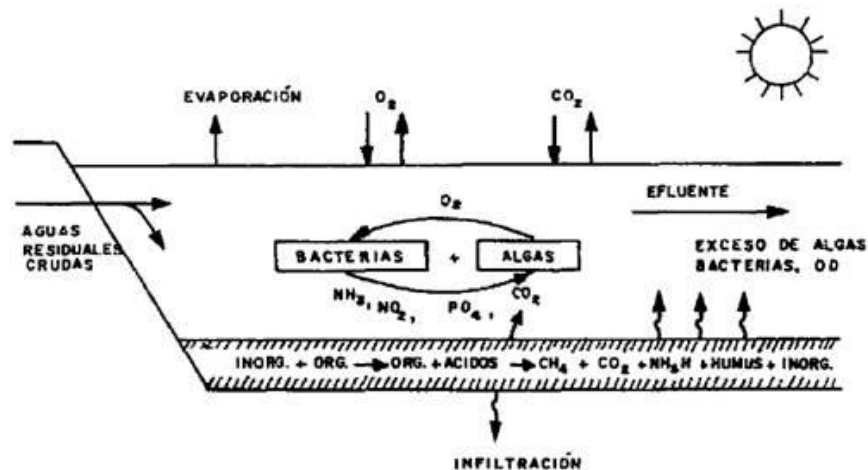


Figura 26. Esquema de una Laguna de Maduración

### ➤ LAGUNAS FACULTATIVAS

Las lagunas facultativas son estanques de profundidades más reducidas (1.0 a 1.8 m.) y su contenido de oxígeno varía de acuerdo a la profundidad y hora del día, generalmente cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (<300 kg de DBO/ha/día) y la temperatura ambiente varía entre 15 y 30 ° C en el estrato superior de la laguna, suelen desarrollarse poblaciones de algas microscópicas (clórelas, euglenas, etc.) que en presencia de la luz solar, producen grandes cantidades de oxígeno y hacen que haya una alta concentración de oxígeno disuelto que en muchos casos llega a valores de sobresaturación. La parte inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaerobias.

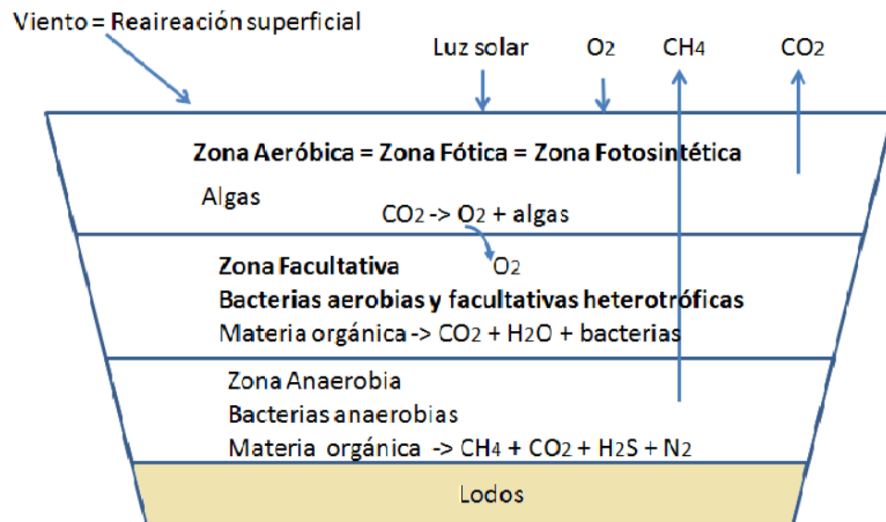


Figura 27. Esquema de una Laguna Facultativa Primaria

En la Figura, se presenta un esquema de este tipo de lagunas. Se puede observar que el oxígeno disuelto disminuye con la exposición solar y profundidad en un estrato de "oxidación aeróbica". Inmediatamente debajo está localizado un estrato de degradación anaeróbica que opera con los mecanismos de degradación discutidos anteriormente. El mecanismo principal de las lagunas facultativas ocurre en el estrato superior y corresponde a una simbiosis o comensalismo de bacterias aeróbicas y algas.

Las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica produciendo compuestos inorgánicos solubles y dióxido de carbono. La cantidad de oxígeno requerida para esta degradación es suministrada principalmente por proceso de fotosíntesis. A continuación, se representa la reacción bioquímica simplificada de la fotosíntesis:

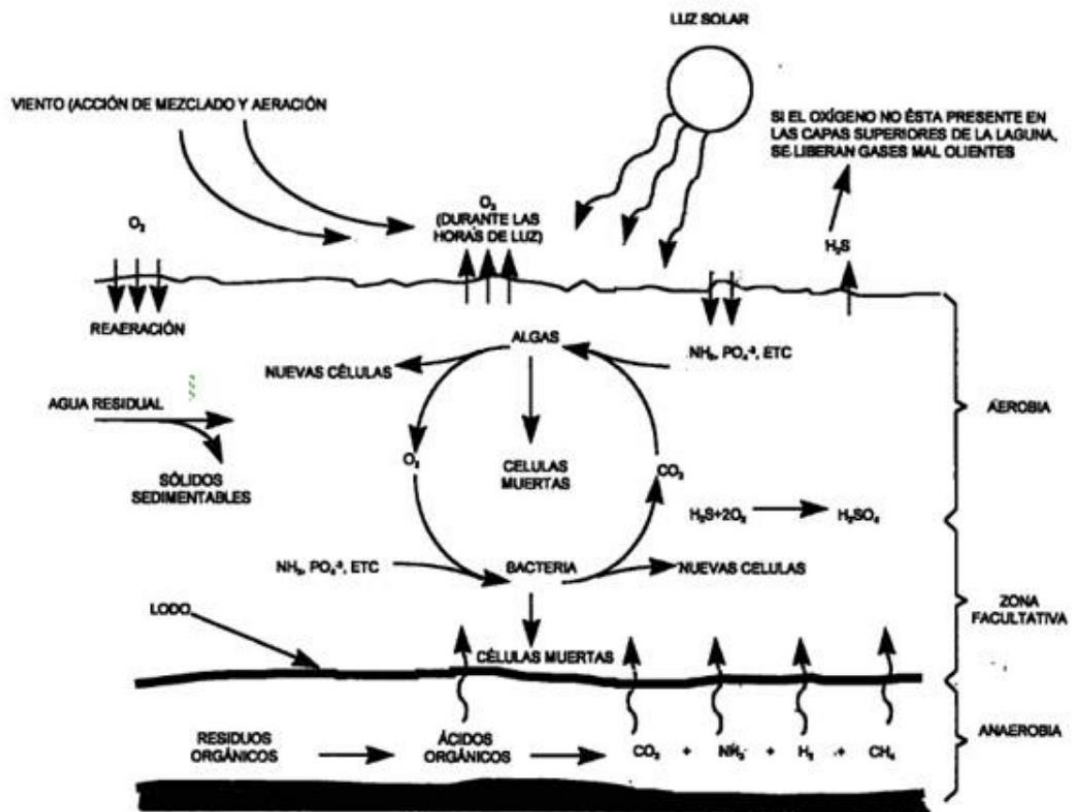


Figura 28. Laguna facultativa primaria - reacción bioquímica simplificada de la fotosíntesis

## PROCEDIMIENTOS Y OPERACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### ➤ TRATAMIENTO PRELIMINAR

El tratamiento preliminar de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

Las unidades o dispositivos son:

- **Rejas:** La operación de cribado se emplea para remover el material grueso, generalmente flotante, contenido en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los

procesos de tratamiento.

- **Desarenador:** Se emplea para remover gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales municipales que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de una planta de tratamiento. El desarenador se ubica generalmente después del cribado.

## ➤ TRATAMIENTO PRIMARIO

Con este nombre se designa a los procesos cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y puede ser por: sedimentación o flotación. De estos procesos, el más utilizado y que mejor se ajusta a las características de las aguas residuales de pequeñas localidades es la sedimentación.

Aun cuando este tipo de tratamiento disminuye la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales, ésta se limita a la fracción en suspensión y no a la disuelta, condición que determina su nombre a tratamiento primario. Estas unidades se diseñan para disminuir el contenido de sólidos suspendidos y, de grasas y aceites en las aguas residuales. Las unidades o dispositivos de tratamiento que utilizan el proceso de sedimentación son:

- **Tanques Sépticos:** Un tanque séptico es un depósito (que puede ser de uno o más compartimiento), impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, además de la excreta y agua residual proveniente de los inodoros, aguas grises de origen doméstico. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, hormigón u otro material resistente a la corrosión. En algunos diseños el depósito está equipado con pantallas o deflectores colgantes tanto en la entrada, para conseguir una distribución eficaz del agua y evitar altas velocidades, como en la salida, para evitar que escape la capa de espuma y nata que se forman durante su funcionamiento (DUNCAN, 1982; HOPKINS, 1951; UNDA, 1993).



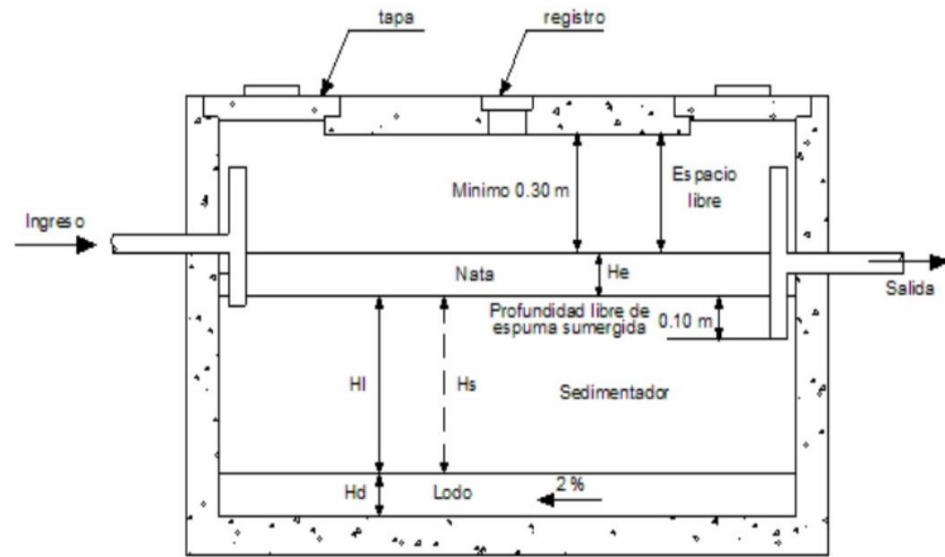


Figura 29. Tanque séptico subterráneo de un compartimiento

- Tanques Imhoff:** Es una unidad de confinamiento de sedimentación de dos niveles se le utiliza como estanque se sedimentación y cámara de digestión. El tanque Imhoff es una unidad compacta, cuyo estanque de sedimentación está ubicado sobre una cámara de digestión. El material que se sedimenta se desvía para que pueda deslizarse directamente hacia la región de digestión. El dispositivo de retención en la superficie de deslizamiento impide que el gas ascienda y altere el proceso de sedimentación. Los tanques Imhoff se construyen de secciones cuadradas y circulares.

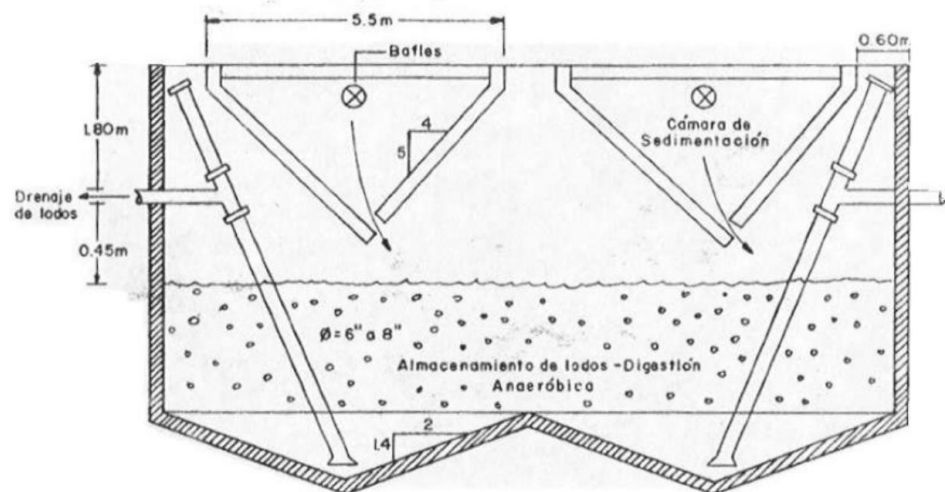


Figura 30. Tanque Imhoff

➤ **TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales, en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte.

La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno). Dependiendo de la forma en que estén soportados los microorganismos, existen dos grandes tipos de procesos.

- **Lagunas de estabilización:** Las lagunas de estabilización son depósitos de aguas servidas que permiten la generación de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, para efectuar la estabilización y desinfección de las aguas haciéndolas inocuas a la salud, por lo tanto, utilizables para otras actividades. Los sistemas de lagunas son simples de construir, confiables y fáciles de mantener, requieren poco equipo importado y facilitan la eliminación de los patógenos.

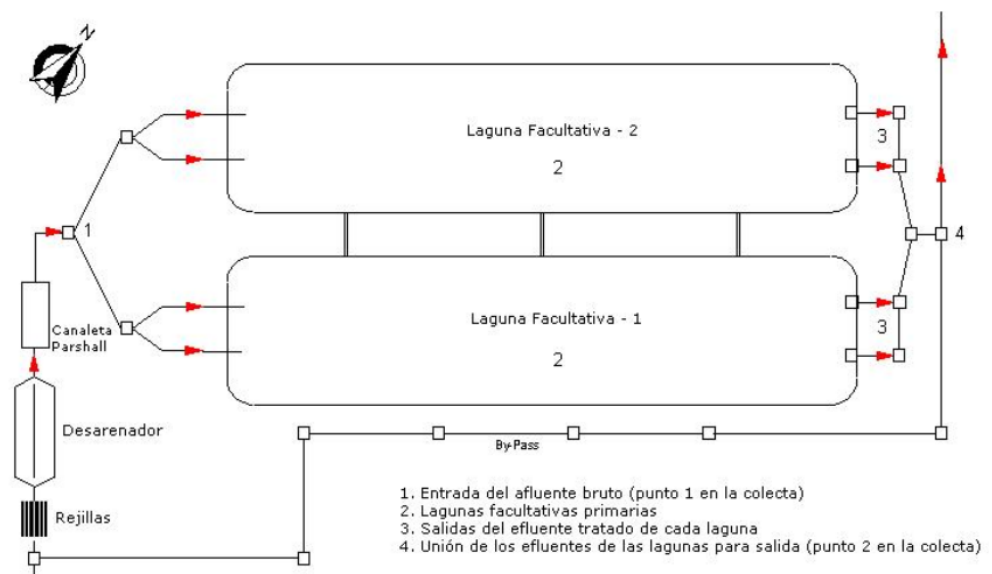


Figura 31. Disposición de las lagunas de estabilización

- Lodo activado convencional:** Este proceso es el más utilizado para plantas de tratamiento grandes en países económicamente avanzados. Es un proceso que requiere un alto nivel de energía y de control para su buena operación. El nombre de este proceso proviene de la producción de una masa "activada" (viva) de microorganismos capaces de estabilizar un residuo vía procesos aerobios. El proceso consiste en introducir el residuo orgánico en un reactor en donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio suspensión (líquido mezcla). El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa. Después del reactor aerobio sigue un sedimentador secundario, lo cual remueve sólidos y las células de las bacterias. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema.

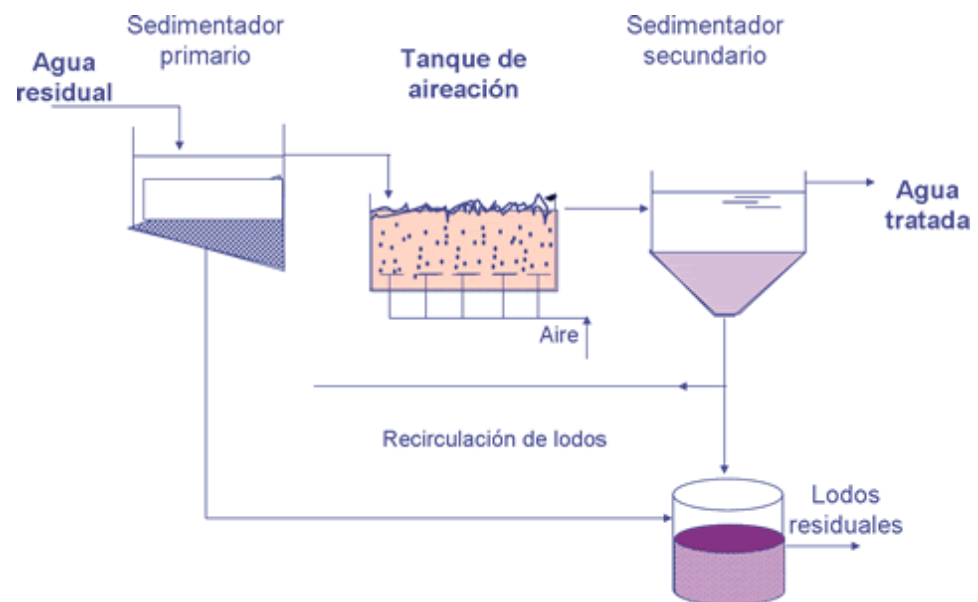


Figura 32. Planta de lodos activados convencional

### ➤ TRATAMIENTO TERCIARIO

Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una alta calidad físico química - biológica, ósea, que son procesos por los cuales se le da un pulimento alto al agua. Las metas de tratamiento varían de acuerdo al reuso que se le pretenda dar a estas aguas. Normalmente el tratamiento terciario es para remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua. Generalmente no se utiliza el tratamiento terciario para aguas residuales municipales, a menos que el reuso de las aguas tenga alguna aplicación en la industria y en algunos casos en protección de un área ecológicamente sensitiva.

## REUSO DE AGUAS Y MANEJO DE LODOS

### GENERALIDADES

El efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales es una materia prima valiosa por su contenido de nutrientes y materia orgánica la cual debe ser valorada y aprovechada para reuso de cualquier naturaleza, en vez de verter estas aguas semi-tratadas al cauce más cercano. Empezar un proceso tan largo y delicado como la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para finalmente limitarse a cumplir con una norma administrativa y verter el efluente al río más cercano con 10, 20, o 30 % de la materia orgánica, que irá con la mayoría de los nutrientes y de los patógenos presentes en el agua residual, deja una impresión de desgaste de donde surge las siguientes interrogantes: (AYALA & GONZALES)

- ¿No será mucho trabajo para un efecto limitado reducir la carga orgánica?
- ¿No será una oportunidad perdida?
- ¿No se podría valorar mejor el recurso “agua”, el recurso “nutrientes”?

➤ **APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA AGRICULTURA**

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas, la cual se asocia particularmente bien a los sistemas que son poco eficientes en la remoción de los nutrientes, los cuales son requeridos por los cultivos.

La irrigación de cultivos con aguas residuales tratadas permite reducir la presión sobre el uso del agua superficial y freática, como en el consumo de fertilizantes químicos y plaguicidas, y aumenta el contenido de materia orgánica de los suelos. Este aporte de materia orgánica es por otro lado el mejor antídoto del suelo para resistir los riesgos de salinización, que pueden surgir de una aplicación excesiva de minerales, particularmente sodio. Las aguas residuales domésticas son aprovechadas en muchas áreas del mundo, para: (AYALA & GONZALES).

- Riego agrícola (a veces directamente, y a veces por extracción de ríos a las cuales se hayan descargado).
- Riego de árboles y plantas en corredores de transporte.
- Riego de césped, por ejemplo, en campos de golf.
- Procesos industriales.
- Cría de peces.
- Recarga de acuíferos.
- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales).
- Uso estético, paisajístico.

➤ **MANEJO DE LODOS**

El lodo es un subproducto que se genera en todos los procesos de tratamientos de aguas residuales. El lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser líquido o líquido semisólido. A diferencia de las plantas aerobias, el lodo de los reactores anaerobios es estabilizado (fermentado), se genera en poca cantidad (aproximadamente 0.50 m<sup>3</sup> o 20 kg de lodo seco para 1000 m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas) y es de fácil deshidratación. Su comercialización es en consecuencia más fácil, aunque el precio de venta solo alcanza para pagar los costos directos de su deshidratación, empaque y transporte. Es de todos modos una fuente nueva de material orgánico para los cultivos de la región.

El lodo estabilizado generado del tratamiento de las aguas residuales es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede emplearse en la agricultura o como fertilizante de estanques en acuicultura. El uso de los lodos debe de fomentarse en donde sea posible, siempre y cuando se provea de la protección de la salud.

Cabe resaltar que en la mayor parte de América Latina la materia orgánica es factor limitante en el rendimiento de los cultivos y su falta tiene un efecto negativo sobre su resistencia natural al parasitismo; además su disponibilidad en el mercado es escasa, el único abono orgánico de venta común en todas las regiones del continente es la gallinaza.

Según el precio comercial de la gallinaza se puede evaluar la necesidad de materia orgánica para la agricultura regional. La materia orgánica incorporada mejora el suelo porque:

- Permite una mayor retención de la humedad.
- Adiciona al suelo los nutrientes necesarios para las plantas y facilita Su retención en el suelo.
- Incrementa la actividad biológica del suelo.
- Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos.

### III. CONCLUSIÓN

- a. Los Geosintéticos pueden ser Geotextiles, Geomallas, Geoceldas, Geocompuestos, GCL, Geomembranas, etc, las cuales cumplen varias funciones como de impermeabilización y se ha logrado describir sus características y diferentes tipos.
- b. El uso de Geosintéticos en las obras civiles tiene las siguientes ventajas:
  - Reducción del tiempo de ejecución y del costo financiero de los proyectos.
  - Simplificación de los procesos constructivos.
  - Disminución de costo de construcción respecto al uso de materiales o sistemas tradicionales (no geosintéticos).
  - Aumento de la calidad en cierto tipo de construcciones (reservorios, pozas impermeabilizadas, etc).
  - Mayor eficiencia en protección al medio ambiente.
  - La mayoría de geosintéticos son inertes y resistentes a buena cantidad de agentes químicos.
  - Contribuye a mejorar a la estética de las obras.
- c. Con la metodología de diseño por función en geotextiles y por espesor en geomembranas se logra la correcta aplicación y el procedimiento constructivo adecuado en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- d. El diseño y construcción de este sistema de impermeabilización (geotextil — geomembrana), depende en gran medida del tipo de suelo de fundación y del residuo que se vaya a depositar.
- e. Con Plantas de Tratamiento debidamente diseñadas, con tratamiento preliminar, primario y secundario se logra el reúso de las aguas residuales, al aprovecharlas en zonas con fines regadíos agrícolas y de áreas verdes. y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y como protección del medio ambiente.



#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEON SUEMATSU, G. (2009), Curso "Diseño y Operación de Lagunas de Estabilización", La Paz — Bolivia.
- MACAFERRI, (2008). Manual De Diseño Geosintéticos, Manual Técnico, Lima — Perú.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, (2001). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2001), Lima - Perú.
- MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS, (2011). Octava Edición, Departamento De Ingeniería, Bogotá D.C. — Colombia.
- MARTÍNEZ BACAS, A. (2009). "Comportamiento Resistente Al Deslizamiento De Geosintéticos", Santander.
- SANTOS NOGALES, S Y QUISPE ARICOMA, D (2009). material de apoyo didáctico de "Diseño Y Métodos Constructivos De Sistemas De Alcantarillado Y Evacuación De Aguas Residuales" para la materia de ingeniería sanitaria 11, Cochabamba — Bolivia.
- SÁENZ FORERO, R. (2008). Predicción De La Calidad Del Efluente De Lagunas De Estabilización. CEPIS, lima — Perú.



V. ANEXOS

**MATRIZ DE DATOS**

**REVISIÓN DE LAS PUBLICACIONES**

DENOMINACIÓN DE LA MATRIZ:

---

AUTOR:

---

A.- LIBROS REFERIDOS AL TEMA

1.

2.

3.

---

B.- TESIS SIMILARES

1.

2.

3.

---

C.- DECRETOS Y BASES NORMATIVAS

1.

2.

3.

---