

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TECNOLOGÍA LIMPIA APLICADA AL DISEÑO DE UNA
ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS GRISES**

TRABAJO ESCRITO

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

PRESENTA:

OMAR GALINDO DURAZO

ASESOR:

DR. JAVIER ESQUER PERALTA

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

TECNOLOGÍA LIMPIA APLICADA AL DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS GRISES

RESUMEN

En el Estado de Sonora, México, al igual que en muchas partes del mundo, y no necesariamente desérticas, existe una fuerte presión social sobre los recursos hidráulicos de la región, muy próximos de llegar a su límite disponible no concesionado, por lo que se prevé fuertes conflictos sociales por su disposición. Esta situación demanda de las autoridades del agua aumentar la disponibilidad para los usuarios urbanos donde las fuentes están a punto de agotarse y al mismo tiempo reducir la extracción de las mismas. Este paradigma es posible enfrentarlo mediante el reuso y reciclaje de aguas residuales municipales entre algunas otras prácticas técnicamente viables.

En nuestro medio las demandas y dotación domésticas de agua son alrededor de 250 l *per cápita* al día de las cuales entre el 70 al 80% se usan para el aseo personal y el lavado de ropa, generando por tanto entre 175 a 200 l de las llamadas aguas grises domésticas. La totalidad de estos volúmenes son teóricamente posibles de reutilizar mediante la depuración de estas aguas en el mismo sitio donde son originadas. En este sentido, se ha propuesto desarrollar un equipo capaz de limpiar el agua de sus contaminantes domésticos para ser reutilizadas en los mismos hogares con una calidad química y bacteriológica que no afecte la salud humana. El diseño del equipo se hace de acuerdo a las tecnologías propuestas por DfE (Diseño para el ambiente por sus siglas en inglés) las cuales ligan el diseño del producto con el medio ambiente.

Los procesos para la depuración de las aguas grises se desarrollan en conformidad a las tres fases básicas de tratamiento de aguas residuales –Decantación y control pH- Aireación y filtración-Desinfección. Los procesos se efectuarán en reactores de flujo vertical con inyección de aire, filtros de rocas ígneas y calizas de la región, arenas sílicas y aplicación de UV de luz natural.

CLEAN TECHNOLOGY APPLIED FOR DESIGNING A GREYWATER TREATMENT PLANT

ABSTRACT

In the State of Sonora, Mexico, as in many parts of the world and not necessarily desert, there is a strong social pressure on the hydraulic resources of the region, very close to get its available limit not concessional, for what strong social conflicts are foreseen by its disposition. This situation demands of the authorities of the water to increase the availability for the urban users where the sources are on the verge of becoming exhausted and at the same time to reduce the extraction of the same ones. This paradigm is possible to face it by means of the reuse and recycling of municipal waste water among some other technically viable practices.

In our home environment the demands and endowment water servants are about 250 l *per capita* for day of which between 70 to 80 % are use for personal care and the wash of clothes, generating therefore among 175 to 200 l of the so called domestic gray waters. Totality of these volumes they are theoretically possible of re-using by means of the purification of these waters at the same original place. This paper aims to presenta proposal to develop equipment capable of cleaning the water of its domestic pollutants to be re-used in the same homes by a chemical and bacteriological quality that does not affect the human health. The design of the equipment will be made according to DfE (Design for Environment) technologies which establish a link between environment and product design.

The processes for the purification of the gray waters will develop in conformity to three basic phases of treatment of waste water - decantation and control pH, aeration and filtration, and disinfection. The processes will be made by reactors of vertical flow with air injection, filters of igneous and limy rocks of the region, sands silica and application of natural UV light.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos	7
Alcances.....	8
Justificación.....	8
Metodología.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	10
Problemática del agua.....	10
Tecnologías Actuales.....	14
Eco-Diseño.....	21
III. RESULTADOS.....	28
Visitas.....	28
Diseño de una Estación Depuradora de Aguas Grises (EDAG).....	32
Estrategias de la Rueda del Eco Diseño aplicado a la EDAG.....	33
Análisis.....	38
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
Conclusiones.....	37
Recomendaciones.....	38
V. REFERENCIAS.....	39
VI. ANEXOS.....	45

I INTRODUCCION.

La recuperación de aguas residuales, en especial de las aguas grises domésticas es una buena alternativa técnica y económicamente viable para disponer de volúmenes adicionales de agua en aquellas regiones donde las fuentes naturales se han agotado. Las aguas grises domésticas pueden ser depuradas con tecnologías apropiadas para su reuso, las técnicas desarrolladas para ese propósito son muy variadas y adicionalmente son pocos los aditamentos diseñados para tal fin. Por las razones anteriores, se propone desarrollar un prototipo de estación depuradora de aguas grises en base al estado de arte de la limpieza de ellas y poner en práctica las técnicas de Diseño para el Ambiente o, en inglés, Design for the Environment (DfE), y de la rueda estratégica de eco diseño. Su alcance limita su aplicación en el hogar donde se generan teniendo cuidado de separar éstas antes de mezclarse con aguas negras. El reuso de aguas se justifica enormemente tanto por el incremento de volúmenes adicionales y el control de la contaminación del agua así como por lograr la sustentabilidad en el aprovechamiento del recurso agua.

Después del capítulo introductorio, en el segundo capítulo se establece el Marco Teórico de la problemática del agua a nivel mundial, nacional y local destacando las propuestas de las Naciones Unidas el cuidado del recurso agua así como su calidad, saneamiento y suministro. En México, la Comisión Nacional del Agua (CNA), advierte que para el estado de Sonora se ha llegado a la situación a lo que llama "fuerte presión social sobre el recurso agua" debido a que casi toda el agua disponible anualmente ya tiene dueño. Adicional a la escasez señalada, la problemática es agravada por la contaminación del agua, por lo que se hace una revisión de los procesos involucrados en ello para mejor comprensión de esos fenómenos, también se destaca el desperdicio que de este recurso se hace por diferentes motivos. Se incluye una revisión de la normatividad vigente en México respecto a las calidades del agua para consumo humano, para su reuso y deposición final. Adicionalmente se hace una revisión de los principales indicadores usados para su caracterización. Se presentan las principales tecnologías usadas actualmente en la depuración de aguas y estudios recientes realizados con tal fin en el mundo como en nuestro país. Los resultados de estos estudios se tomaron como base para el desarrollo del dispositivo que aquí se

propone. Esta propuesta toma en consideración para el diseño físico del dispositivo las propuestas del DfE, la aplicación de la matriz MET, la lista de verificación del eco-diseño y finalmente la rueda estrategias del eco diseño enfocado a los materiales, procesos y consumo de energía, presentándose una breve explicación de cada una de ellas.

En el tercer capítulo se presentan los resultados. Estos incluyen el recorrido de campo en las principales estaciones depuradoras de aguas residuales en uso en Hermosillo sobresaliendo el hecho que la mayor parte de ellas son de propiedad privada y de tecnología de lodos activados. No se obtuvo información de la existencia de alguna estación depuradora de aguas grises. Aquí se presenta como un nuevo concepto la Estación Depuradora de Aguas Grises (EDAG) resultante de la literatura revisada y de la aplicación de los métodos del DfE, los componentes de la misma así como el tren de tratamiento propuesto, caracterizándose por cumplir el objetivo de tratamiento, control de contaminantes y ser sustentable. El cuarto capítulo resume las principales conclusiones y recomendaciones desprendidas del presente

Objetivo general.

Diseñar desde un enfoque sustentable un equipo depurador de aguas grises doméstico para reutilizarlas en el mismo sitio donde son generadas.

Objetivos Específicos.

- Analizar la forma en que se utiliza y se desperdicia el agua en el hogar.
- Conocer los procesos fisicoquímicos y biológicos que contaminan y descontaminan el agua y los medios para llevar a cabo su limpieza.
- Analizar el potencial de reuso de agua con el propósito de reducir de la fuente original volúmenes apreciables de aguas blancas.
- Diseño de un prototipo de equipo del tipo de flujo vertical, que permita depurar el agua de sus contaminantes biológicos y químicos generados en los hogares.

Alcance.

El presente estudio se limita al diseño de un equipo depurador de aguas grises para su aplicación a una escala doméstica pero con la intención de extrapolar sus capacidades a una aplicación mayor en cualquier generador-consumidor de aguas grises o cualquier tipo de aguas contaminadas y/o residuales.

Justificación.

Satisfacer las demandas crecientes de agua o incrementar su disponibilidad cuando las fuentes se han agotado sólo es posible mediante la sobrexplotación de las fuentes, transvases intra e inter cuencas, captación de lluvia, desalación de agua donde sea posible o bien optimizando y eficientando los recursos disponibles o reusando las aguas residuales. Estas últimas son una fuente de agua con la cual se puede incrementar su disponibilidad mediante depuración, la que puede lograrse a un nivel predeterminado según su origen y aplicación, en especial separando las aguas grises generadas en los hogares antes de mezclarse con las aguas negras, pues son de muy buena calidad bacteriológica, lo que facilita su tratamiento. Esto se lleva a cabo en estaciones depuradoras con tecnologías poco conocidas y existen escasas estructuras hechas para tal propósito. Adicional a la recuperación de aguas, las estaciones depuradoras permiten el control de los contaminantes generados por lo que se protege el capital natural.

Metodología.

La metodología consiste primeramente en hacer una revisión literaria principalmente de dos elementos: 1) las tecnologías existentes y en operación para el así llamado tratamiento de aguas residuales, en especial aquellas aplicadas a la limpieza de aguas grises domésticas y con ello establecer el estado de arte de estas técnicas, y 2) los métodos propuestos para el diseño para el ambiente. En segundo lugar, se hace un recorrido de campo para conocer las diversas tecnologías existentes en nuestra ciudad en relación a las plantas tratadoras. Por último, se desarrolla el diseño de un prototipo de una Estación Depuradora de Aguas Grises (EDAG).

Las herramientas a utilizar serán las siguientes:

- a) Se hará una visita de campo con la finalidad de conocer las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en operación en nuestra ciudad y las tecnologías en uso.
- b) Diseño del prototipo de la EDAG: La parte conceptual será en base a los elementos de la Rueda Estratégica del Eco-Diseño (Eco-Design Strategic Wheel), el cual es promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP, (Brazet et al, 1997).

LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA

La visión del Desarrollo Sustentable (DS) respecto a los problemas ambientales considera que éstos pueden tener un alcance global, local y regional como es el caso de la disponibilidad del agua. En el anuario estadístico "El Agua en México" (2008, p 161), cita que en el año 2004, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1100 millones de personas no tenían acceso al agua de buena calidad en el mundo, y por otro lado 2400 millones más no contaban con servicios de saneamiento (alcantarillado o drenaje). En sus consideraciones, el DS señala para la Dimensión Ambiental hacer un uso sustentable y razonable de los recursos naturales así como, entre otras, imitar los procesos naturales. En particular, respecto a la problemática del agua, las Naciones Unidas (1992, p 196) en la sección II de la Agenda 21, en el capítulo 18, señala que, debido a la escasez, la gradual y creciente contaminación de las aguas blancas, se hace necesario una planeación y administración integrada de los recursos hidráulicos por lo que se propone, entre otras acciones, la protección de los recursos hidráulicos así como su calidad, suministro, agua potable y saneamiento.

Según datos de la CNA (2008: p 26), se tiene en México una disponibilidad natural de agua de 458 Km³ anuales lo que representa 4312 m³ per cápita al año de acuerdo a cifras al 2007. Este dato no da certeza de la disponibilidad espacial del agua en las diferentes regiones del país, pues mientras que en el suroeste donde más precipitaciones se presentan y dado su baja densidad poblacional se obtiene una disponibilidad por habitante anual de 13290 m³, por otra parte en el noroeste del país (Sonora mayormente), donde las condiciones son más secas y baja población, esta disponibilidad disminuye a 3192 m³ per cápita.

Para la región hidrológica II Noroeste, que comprende el estado de Sonora y siete municipios más del estado de Chihuahua asentados en la cuenca del río Yaqui, la CNA (2008: p 28), muestra una disponibilidad natural media total de

8204 millones de m³ anuales de los cuales la misma CNA informa que de esos volúmenes se encuentran concesionados o comprometidos 7394 millones de m³ entre el sector agrícola, municipal e industria (CNA, 2008: p 60). Dividendo el volumen concesionado entre el volumen disponible natural se obtiene un índice llamado **grado de presión social sobre el recurso agua** que para esta región es de 90.13% el cual se califica de fuerte, esto es casi todo lo disponible y ya está concesionado (CNA, 2008: p 63).

Debido a la problemática del agua es importante entender el proceso de su contaminación y desperdicio. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual, FCEA (2006). Kemmer y McCallow en el Manual del Agua (1989) añaden que “cualquier cosa en el agua que no sea agua es un contaminante o impureza. Los términos impureza, contaminación y polución son términos subjetivos. Un contaminante se considera un polutante cuando su concentración alcanza un nivel que puede ser dañino para los seres vivos”.

Según Sagredo (2008), las aguas contaminadas presentan, entre otros, los síntomas siguientes; mal olor, color y turbiedad, sabor desagradable, manchas de aceite, cuerpos extraños, etc., todo lo cual es como resultado de diferentes tipos de contaminantes los cuales clasifica en nueve tipos de categorías:

- 1) **Residuos con demanda de oxígeno**, estos residuos son los generados por aguas residuales domésticas y desechos animales principalmente;
- 2) **Agentes patógenos**, su origen es básicamente materia fecal;
- 3) **Nutrientes minerales**, son compuestos de C, N, K y P que son base para la nutrición vegetal;
- 4) **Compuestos orgánicos sintéticos**, son compuestos usados como combustibles, plásticos, plastificantes, fibras, disolventes, detergentes, pinturas, insecticidas, aditivos, etc.;
- 5) **Aceites**, aquí se incluyen productos de la industria petrolera y petroquímica como petróleo y gasolinas;
- 6) **Compuestos químicos inorgánicos y minerales**, aquí se incluyen sales inorgánicas, ácidos minerales, y metales provenientes de la industria química,

salinidad y toxicidad;

7) Sedimentos, partículas de suelo en suspensión originadas por la erosión provocando turbidez en el agua y azolve de ríos, lagos y presas;

8) Materiales Radiactivos, esta resulta por la pérdida de control de materiales radiactivos durante la producción de isótopos y

9) Calor, no considerado como un contaminante hasta recientemente que se observaron efectos negativos en las comunidades acuáticas por aumentos en la temperatura del agua menores de 5°C. Las cuatro primeras categorías de contaminación serán el objetivo del equipo por desarrollar para la limpieza del agua gris.

El agua que en su manejo, uso o consumo no es aplicada para el propósito deseado o se pierde se dice que se desperdicia. El desperdicio del agua es considerado un gran problema social, entre las principales causas del desperdicio en México se identifican las siguientes: a) deficiencias en la operación e infraestructura para la captación y distribución del agua, b) malos hábitos de consumo de los usuarios, y c) falta de cultura en el reuso así como la captación y aprovechamiento del agua de lluvia (El Agua en México, 2006: p40). Leovigildo Reyes (2009) de Aguah, organismo operador de agua y alcantarillado de Hermosillo, Sonora, señala como causa principal del desperdicio del agua su muy bajo costo además de la falta de cobro por su contaminación, o mejor dicho, por su tratamiento. Por otro lado, la investigadora Mazari H. M. (2008), del Instituto de Ecología de la UNAM, hace un llamado de alerta señalando que "el agua debe usarse, tratarse y reutilizarse, pues es finita, irrecuperable y limitada, por lo que es sumamente necesario recurrir a la tecnología para que vuelva a ser destinada para consumo humano o uso cotidiano". Aunado a esto, Mazari señala que sólo el 10% del agua residual es tratada en nuestro país. El Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental A. C. (2006), señala que no existe comercialización de dispositivos para el reuso del agua, ni para la captación del agua de lluvia a pesar de haber tecnología para tal propósito. Martínez A. M. (2008) en un coloquio donde se plantea la necesidad de enfrentar el problema de las aguas residuales en nuestro país, y junto con un grupo de empresarios del ramo,

analizan la problemática financiera de establecer las plantas tratadoras, llegando a un acuerdo que éstas son financieramente redituales y de beneficio al medio ambiente.

En una nota periodística, Carlos Sagredo, entrevistado por Olivares A. E. (La Jornada, 7 de enero de 2008), afirma que el agua consumida en los hogares mexicanos se distribuye principalmente en los siguientes usos: a) Regadera y lavamanos 45%; b) Lavado de ropa 30%; y c) Agua negra el 25% restante. Se considera que el grueso de la dotación se distribuye entre los tres usos señalados principalmente, entre los cuales los dos primeros, que suman el 75%, son las que generan las llamadas aguas grises o jabonosas las cuales se diferencian de las aguas negras en que estas últimas tienen un alto contenido de materia orgánica que pueden ser dañinos para la salud mientras que las primeras contienen muy poca materia orgánica por lo que se consideran de buena calidad bacteriológica, ver Tabla A en el anexo.

Cuando el agua no es tratada independientemente de su fuente original, sea agua de pozo, laguna, río, o lluvia, se incurre en grandes riesgos para la salud humana, más aún cuando la fuente son aguas residuales. En el artículo técnico "Todo es Agua: Agua y Salud" (2008), se señala que los efectos adversos en la salud humana que pudiera ser ocasionadas por el agua no tratada pueden dividirse en cuatro categorías: a) **Enfermedades transmitidas por el agua.** Son aquellas enfermedades causadas por aguas contaminadas por desechos humanos, animales o químicos. Entre estas enfermedades se encuentren el cólera, fiebre tifoidea, la shigella, la poliomielitis, la meningitis, la hepatitis A y E y la diarrea; b) **Enfermedades con base en el agua.** Son aquellas enfermedades ocasionadas por organismos acuáticos que pasan una parte de su ciclo vital en el agua y otra como parásitos de animales, el hombre inclusive. Estas enfermedades son trematodos, tenias, lombrices intestinales y nematodos denominados helmintos; c) **Enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua.** Enfermedades transmitidas por vectores, como mosquitos y moscas tse-tse que se crían y viven en aguas contaminadas y no contaminadas que transmitan enfermedades como el dengue y finalmente; d)

Enfermedades vinculadas a la escasez del agua. En estas se incluyen el tracoma y la tuberculosis.

La mayoría de estas enfermedades pueden prevenirse si el agua es tratada antes de ser utilizada. En este sentido, se hace necesario el saneamiento de las aguas el cual se conceptualiza como el acceso seguro, sustentable e higiénico del agua (Naciones Unidas, Agenda 21). Esto último nos lleva a plantear que no todos los usos del agua requieren que sea de la misma calidad, por lo que se han determinado diversos valores de ciertos parámetros para clasificar las aguas considerando su uso.

Respecto al agua para consumo humano, la Norma mexicana NOM_127_SSA1_1994 (El agua en México, 2006) establece los conceptos de agua para uso y consumo humano y límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización, la NOM-001-SEMANART-1996 establece los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes de aguas residuales en otros cuerpos de agua y bienes nacionales, la NOM-002-SEMANART-1996 establece los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes en los sistemas de alcantarillado e igualmente la NOM-003-SEMANART-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2008: p47) la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son tres de los indicadores utilizados para la clasificación de la calidad del agua para uso humano. La DBO5 y DQO son indicadores que determinan la cantidad de materia orgánica biodegradable y la materia orgánica total respectivamente; un aumento en estos indicadores afecta el contenido de oxígeno disuelto en el agua afectando los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, un aumento de los SST afecta también los cuerpos de agua y tiene su origen principalmente de la erosión del suelo. En la Tabla B del anexo, se muestra la clasificación de la calidad de las aguas de cada indicador en función de sus límites permisibles.

TECNOLOGÍAS ACTUALES

En función del origen y uso final que vaya a tener el agua a tratar, se han desarrollado diversas tecnologías a fin de restablecer sus características naturales llamándole Depuración, Tratamiento y Potabilización. Para dar claridad a estos conceptos se hace una extensión a la definición la que se tomó de "Tratamiento de Aguas" (2008), *"los términos Depuración, Tratamiento y Potabilización se utilizan para nombrar los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desechos arrastrados por el agua procedentes de su uso anterior. Sus alcances están dados por el uso posterior que se ha de dar a las aguas en cuestión"*.

Al momento actual, se han desarrollado diversas técnicas para la depuración de las aguas grises, entre las técnicas empleadas están; **a) Procesos Físicos, b) Procesos Químicos, c) Procesos Biológicos y combinación de los mismos**. Entre las más sencillas se menciona un proceso simple de dos pasos, filtrado y desinfección, los físico-químicos son eficientes en remover los contaminantes físicos no así la materia orgánica, para ello los procesos químicos y biológicos son los preferidos. Entre los procesos biológicos se mencionan biorreactores de membrana, discos rotatorios de contactos biológicos (RBC) y humedales artificiales, (Sagredo, 2008). El mismo autor nombra algunos sistemas de tratamiento como son: Sistema Secuencial de Reactores por Lotes (SBR); Reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanked (UASB) y Biorreactor de Membrana (MBRs).

Algunos estudios que han aplicado los principios de las tecnologías señaladas se han encontrado los siguientes: Investigadores del IMTA, Uribe G. E. y Gutiérrez L. E. (1998), estudiando las capacidades adsorbentes del tezontle y del carbón activado (CA) de lirio acuático encontraron que ambos materiales son muy eficientes para la remoción de la turbiedad y color de aguas residuales (y por ende de sólidos minerales y orgánicos) principalmente el CA, con valores del 80 al 97% para el color y del 76 al 98% en la turbiedad del agua tratada respectivamente. Pidou M. et al (2007), seleccionando el tratamiento

químico, estudiaron el efecto de dos sales inorgánicas, sulfato ferrico y sulfato de aluminio como coagulantes (de uso común para tal propósito) y una novedosa resina de iones intercambiables magnéticos con la intención de disminuir tanto el consumo de las sales coagulantes como el contenido de materia orgánica y lodos producidos así como mejorar la calidad estructural de los flóculos. Este estudio resultó efectivo sólo en aguas grises de baja carga orgánica no alcanzando los estándares de calidad para su reuso.

En Israel, donde las condiciones limitantes de agua son muy similares a nuestro medio, se ha optado por tratar las aguas in situ esto es, en los hogares mediante EDAR de tecnologías de filtración, ultrafiltración y osmosis inversa, encontrando dificultades de taponamiento constante de los medios y membranas filtrantes por altos contenidos en materia orgánica disuelta en sus aguas grises por lo que se desarrollan estudios para reducir o eliminar este problema (Frielder E. et al 2007). Para zonas rurales de Jordania se evaluaron tres tecnologías EDAR in situ consistentes en tanques sépticos con filtros de arena, tanques sépticos con humedales y finalmente reactores UASB híbridos (con lodos activados) fueron estudiados por Halalsheh M. et al (2008), encontrando que en términos de reducción de materia orgánica y sólidos totales los reactores híbridos fueron los que alcanzaron los estándares para agua en uso agrícola. Un estudio de laboratorio llevado a cabo por Sagredo (2007) para el tratamiento de aguas grises, lo llevó a cabo con inyección de aire para la inducción de la adsorción por rectificación en espuma para la remoción de anfifilos como proteínas, polímeros y tensoactivos como detergentes, jabones y suavizantes de tela. Además utilizó cal apagada para la inducción de la reacción-adsorción del hidroxilo de calcio que tiene adicionalmente acción bactericida al incrementar el pH. Los resultados obtenidos con estas técnicas fueron muy prometedores con niveles de calidad de agua tratada para su reuso en el hogar donde no se requiere agua potable.

En el artículo "Tratamiento de aguas" (2008) se define que las plantas en donde las aguas residuales son tratadas se les conoce como "**Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)**". Las EDAR constituyen un método convencional de tratamiento. Los objetivos de estas estaciones son; **a)**

Eliminación de desperdicios: Grasas y aceites flotantes, arenas y en general todos los elementos gruesos que pueda contener el agua, **b) Eliminación de materiales desechables**, tanto orgánicos como inorgánicos, **c) Eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta** y **d) Estabilización y disposición de lodos extraídos en los procesos**. Para el diseño hidráulico de las EDAR es necesario tener en cuenta diversos parámetros entre los cuales están los gastos, cargas orgánicas, etc. (Ramírez J. S., ND).

Según la descripción del artículo "Fases en el Proceso de Depuración" (2008), la depuración se logra a través de un pre-tratamiento y tres fases de tratamiento independientemente de la tecnología a utilizar, y estas son:

a. Pre-tratamiento.

Al llegar las aguas residuales a las EDAR se les da un pretratamiento que consiste en:

Desbaste. Aquí se eliminan los sólidos más gruesos como son troncos, piedras, plásticos, mediante cribas o rejillas diseñadas expresamente.

Desarenado: Se lleva a cabo en un dispositivo especial, donde las arenas se depositan en el fondo por acción de la gravedad.

Desengrase: Por medio de este proceso se concentran las partículas de baja densidad (densidad menor a la del agua de 1 g/cm^3) en la superficie del agua, especialmente aceites y grasas. Un procedimiento sencillo para lograr esto es mediante la introducción de burbujas de aire en el agua en las cuales los aceites y grasas se fijan en la superficie de las burbujas, flotando sobre el agua en forma de natas. En otros artículos los procesos anteriores son incluidos como parte de la primera-fase de tratamiento.

b. Primera Fase.

Aquí se eliminan la mayor parte de los sólidos en suspensión y parte de la materia orgánica. En esta fase se realizan los siguientes procesos:

Decantación: Las partículas en suspensión de mayor densidad (densidad mayor a 1 g/cm^3), se depositan en el fondo de los decantadores primarios por acción de la gravedad haciéndolas pasar a través de los mismos a baja

velocidad. Los lodos formados son desalojados purgando periódicamente los decantadores.

Coagulación y floculación: Los sólidos en suspensión del tamaño coloidal (1-100 nm) se caracterizan por ser muy estables debido a su tamaño y a que se encuentran cargadas negativamente en toda su superficie (como las arcillas del suelo). Para lograr su aglomeración se realiza la coagulación y floculación que permite que estas partículas decanten. La coagulación consiste en la eliminación de las cargas eléctricas negativas de la superficie de los coloides mediante un coagulante. La floculación agrupa las partículas descargadas por medio de floculantes. Los flóculos resultantes según su densidad son eliminados por decantación o flotación.

Neutralización del pH: Cuando un pH es demasiado alto o bajo dificulta la acción depuradora de los microorganismos ya que la actividad biológica óptima tiene lugar entre un pH de 5 a 8.5, por lo tanto es necesario corregir la excesiva alcalinidad o acidez del agua mediante la adición de bases o ácidos. En este punto las aguas se encuentran en el tanque de sedimentación y persisten aún grasas y aceite. Mientras que los sólidos son desviados a un tanque de digestión y a un lecho deshidratador, las aguas restantes se envían a un tanque de desinfección por cloro que una vez alcanzado los límites deseados de microorganismos patógenos, son arrojados a algún cuerpo de agua.

Según información obtenida después de esta fase son eliminados el 60% de los sólidos en suspensión (SST) y el 35% de los materiales orgánicos (35% de la DBO), (Tratamiento 1º, 2º, y 3º, 2008).

c. Segunda Fase o tratamiento biológico.

El tratamiento secundario de aguas negras es un proceso biológico que utiliza bacterias aerobias como un primer paso para remover hasta cerca del 90 % de los desechos biodegradables. Después de la sedimentación, el agua pasa a un tanque de aireación en donde se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica y posteriormente pasa a un segundo tanque de sedimentación. De aquí las aguas nuevamente pueden ser vertidas previas un tratamiento de clarificación o bien ser tratadas en segunda ocasión. Aun cuando el cloro es ampliamente utilizado como bactericida tanto en el

tratamiento de aguas residuales, la investigadora Mazari (2008) sostiene que “en una alta concentración de materia orgánica al mezclarse con el Cl, forma compuestos denominados Trihalometanos, que se dividen en cloroformo, bromoformo, dibromoclorometano y bromodiclorometano que producen cáncer”. Entre las tecnologías que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas contaminadas están: el proceso de lodos activados, la aireación u oxidación total, filtración por goteo y el tratamiento anaeróbico.

d. Tercera y última Fase.

Este proceso consiste en la eliminación del material orgánico prevaeciente, nutrientes minerales como los fosfatos, nitratos o cualquier sal mineral. Los principales tratamientos para la eliminación de los iones minerales están la precipitación, sedimentación y la filtración, lo que se logra mediante la adición de reactivos químicos, filtros de arena y el uso del carbón activado.

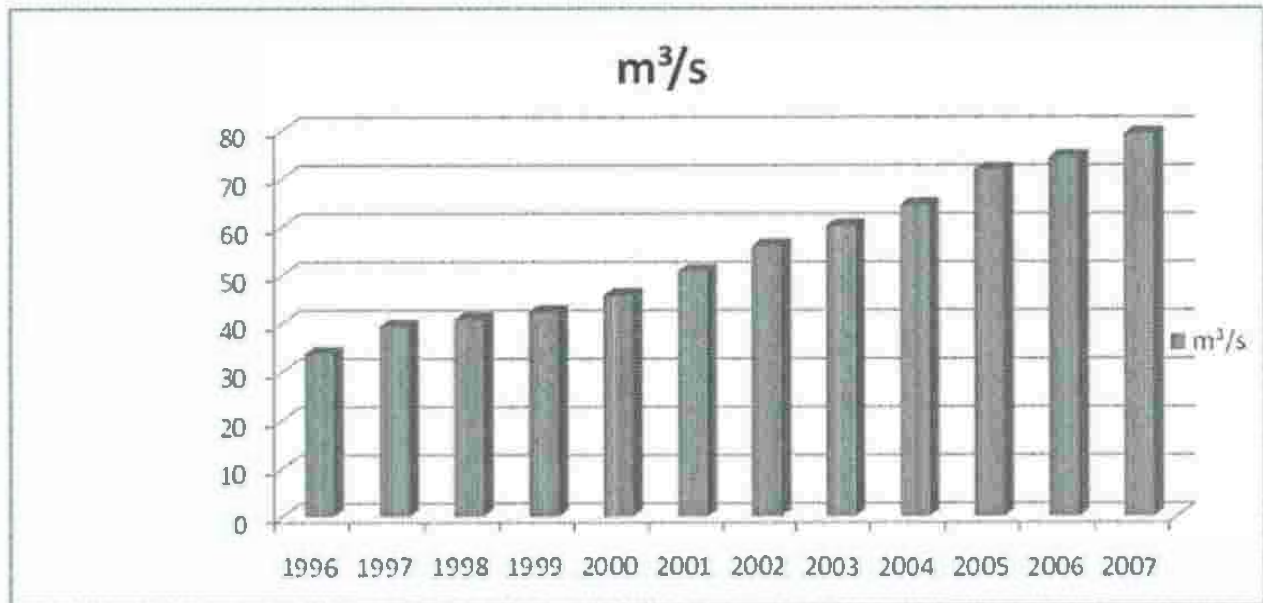
El tipo de tecnología utilizada en el tratamiento de aguas residuales depende no sólo del destino del agua residual, sino de la disponibilidad de recursos materiales y humanos para construir y operar las plantas de tratamiento, Escalas (2006). Cuando la poblaciones son menores a 25000 habitantes se prefiere el uso de las llamadas tecnologías blandas entre las cuales están las lagunas las que pueden ser aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, cada una con procesos específicos, estas técnicas requieren de grandes extensiones de suelo por lo cual son más usados en el medio rural. Otras tecnologías son los cilindros biológicos o contactores cilíndricos rotativos, los llamados filtros verdes o humedales controlados y los lechos de turba.

Por otra parte, según información publicada por CNA (2008; p 88) para el año 2007 se trataban en México alrededor de 79.3 m³/s en 1710 plantas tratadoras en operación lo que representaba el 38.3% de las aguas captadas en los sistemas de alcantarillado de un total de 207 m³/s, CNA (2008: p 88), ver Tablas C y D en el anexo.

En el gráfico 1, se presenta la evolución del volumen de las aguas tratadas en nuestro país desde el año de 1996 a diciembre del 2007. Complementariamente, en la Tabla D en el anexo, se muestran las principales

tecnologías empleadas en las plantas tratadoras existentes a diciembre del mismo año. Sobresale en estas estadísticas la inexistencia de plantas tratadoras de aguas grises, reforzando la idea de este trabajo de desarrollar en este campo algún proceso para la reutilización de las mismas.

Gráfico 1. Caudal de aguas residuales municipales tratadas en México, serie anual de 1996 a 2007 (Metros cúbicos por segundo, m³/s).



Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Hablando de las aguas grises de manera particular, no existe consenso del concepto; sin embargo, unos autores consideran como tal sólo las aguas provenientes de la regadera y el lavado de manos, otros consideran que se debe incluir las aguas residuales del lavaplatos, tina de baño, lavadoras y lavaderos además de las dos primeras. Los investigadores Pidou M. et al (2007) en su nota técnica Soluciones Químicas para el reciclaje de Aguas Grises, definen a esta última como el agua residual doméstica que excluye el agua del retrete y generalmente incluye las aguas de tinas, regaderas, lavamanos, lavadoras de ropa, máquinas lavaplatos y lavaplatos. No obstante, señalan que por su alta contaminación las aguas de máquinas lavadoras de ropa, máquinas lavaplatos y lavaplatos manuales se tiende a excluirse. Para nuestros fines consideraremos como aguas grises todas aquellas aguas jabonosas provenientes de la regadera, lavamanos, lavadero y lavadora. Por otra parte las aguas grises se pueden caracterizar en función de su contenido de materia orgánica por lo que las clasifica en baja carga y alta carga según su contenido de materia orgánica. Las

aguas grises de baja carga no incluyen las provenientes del lavaplatos ni de las lavadoras, así por exclusión éstas últimas son de alta carga de materia orgánica.

Según Widiastuti N. et al (2007), los contaminantes domésticos provienen de las siguientes fuentes; **a) Químicos utilizados en el lavado de ropa y baño**, los contaminantes principales son los agentes surfactantes (agentes activos superficiales) como detergentes y productos para la higiene. Los surfactantes son clasificados en base a la cadena de transporte de su estructura molecular cuando disueltos en agua se comportan como aniones, cationes o no iónicos o anfotéricos. Los detergentes surfactantes aniónicos son los más utilizados como sulfanato alquiladico lineal y alquilbenzenosulfanato. Entre los surfactantes catiónicos se encuentra los ablandadores de telas como dialkildimetilamonio clorado y otras sales amoniacales. Otro contaminantes químicos son los agentes detergentes- constructores, utilizados en la formulación de los detergentes cuyo papel es inactivar los iones de Ca y Mg dañinos. Existen diversos tipos de agentes constructores los que son sustancias alcalinas intercambiadoras de iones entre ellas se encuentran el tripolifosfato de sodio y el monofosfato los cuales son la fuente principal de contaminación por fosforo en aguas grises. Otras sustancias químicas encontradas son blanqueadoras, ablandadoras y solventes que se constituyen en compuestos Xenobióticos. Finalmente se encuentran el N, P y las DQO y DBO, y **b) Contaminantes microbiológicos**. La principal fuente son las heces fecales provenientes del lavado de manos después de ir al baño, por el cambio de pañales y baño personal. Las bacterias coliformes *Escherichia coli* y las del genero *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klesiella* son utilizadas como principales indicadores de contaminación microbiológica debido a que tienen una fuerte correlación con la presencia de otras bacterias, virus, protozoarios y otros patógenos.

Según define Corzo (1977) "...un proyecto [diseño] es el conjunto de cálculos, especificaciones y dibujos que sirven para construir un aparato o un sistema que satisfaga alguna necesidad humana". En la Figura 1 se muestra los pasos a seguir para el desarrollo de cualquier producto, sugerido por el citado autor.

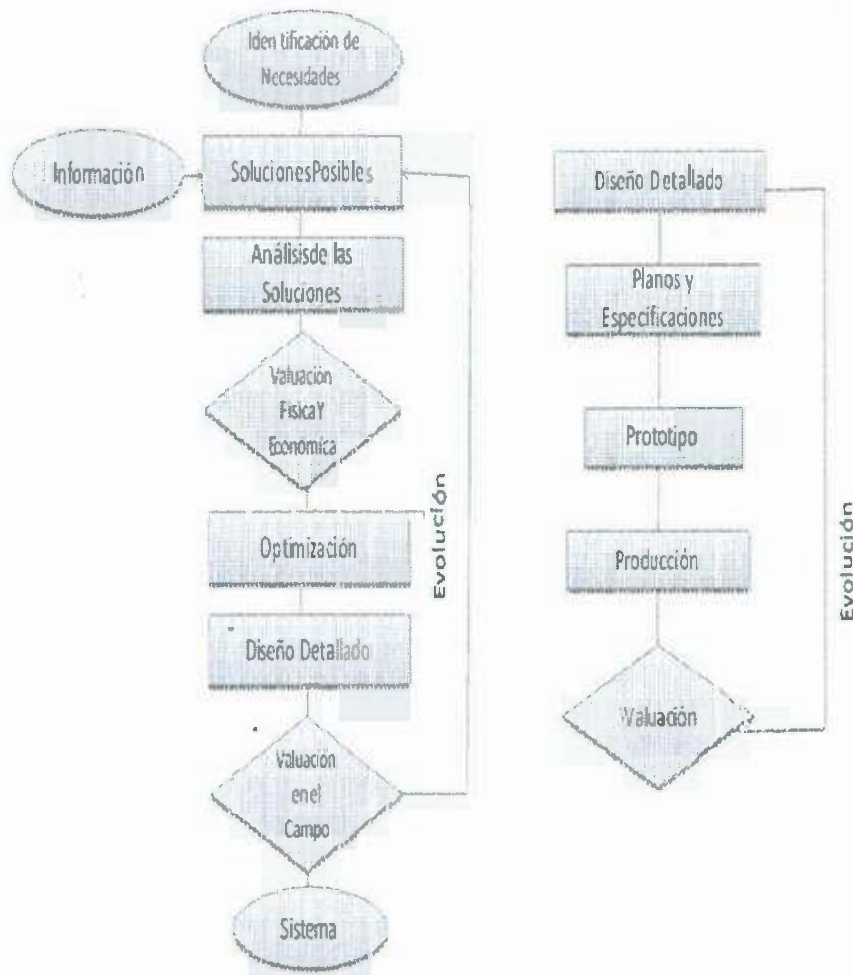


Figura 1. Desarrollo de un proyecto.

Fuente: Corzo M. A. (1977) Introducción a la Ingeniería de Proyectos.

Asimismo, para considerar el impacto ambiental en el diseño, la fabricación y operación de un producto, Kurk et al (2007) describen en el artículo "The value of adding design for the environment to pollution prevention assistance options" herramientas como "el diseño para el ambiente" (DfE) o también conocido como "Diseño para la Sustentabilidad", "Eco Diseño" o "Diseño del Ciclo de Vida". El DfE se enfoca en la optimización del diseño, la eficientización de los recursos y el consumo de energía, permitiendo a los diseñadores prevenir o reducir el impacto de los productos en el ambiente a largo plazo más allá de la etapa de fabricación.

Según Yardwood J. et al (ND), la adopción del DfE proviene de motivos tanto internos como externos entre los que se encuentra obtención de beneficios como mejora de productos, reducción de ciclos de tiempo, reducción de costos, impactos ambientales, mejora posicional en el mercado, responsabilidades legales, mejor imagen, además de políticas legales, competencia, requerimientos ambientales para reconocimiento o premios, etc. Los promotores del DfE señalan que desde la mesa de diseño del producto se definen hasta un 70% su costo de desarrollo y producción principalmente, por lo que es en esta etapa que debe implementarse el DfE.

Tradicionalmente para la manufactura de cualquier producto se tiene en consideración las peticiones de los clientes, los intereses ambientales, peso y tamaño, funcionalidad, economía del producto y manufacturabilidad. Además de los puntos anteriores, el DfE pondera e incorpora atributos ambientales en el diseño del producto, tomando en consideración el ciclo de vida completo del producto (Brezet H. et al, 1997). Debe tenerse un buen conocimiento de los principales problemas ambientales potenciales de los productos en el ciclo completo de vida (ver Figura 2), desde la extracción de los minerales y obtención de materias primas hasta su deposición final (Yarwood et al, ND).

Ciclo de Vida de un Producto

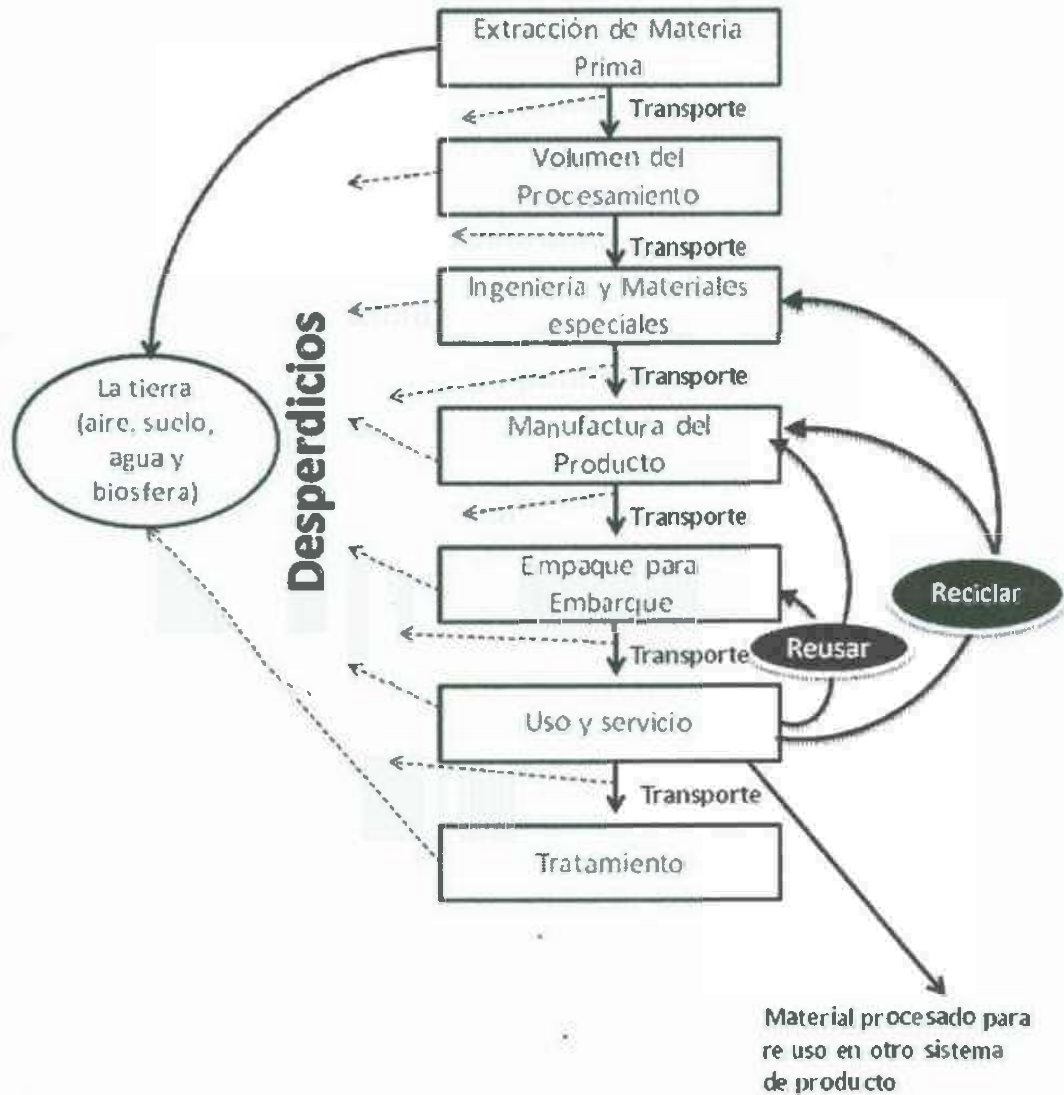


Figura 2. Ciclo de vida de un producto

Fuente: Yardwood et al (ND). Design for the Environment (DfE): Toolkit

En la propuesta de la UNEP para el Eco-Diseño (Brezet et al, 1997), se menciona que para determinar y establecer un perfil ambiental del producto y tener en cuenta todo los tipos de problemas ambientales en que incurra, se facilita aplicando la matriz MET (Material cycle, Energy use y Toxic emissions) la que permite enfocarse en todas las etapas de vida del producto (horizontal) y en los efectos ambientales que estos tienen (vertical). Completando el uso de la matriz MET se propone el uso de Ecodesign Checklist (Lista de verificación del Ecodiseño) la que sustenta el análisis cualitativo ambiental enlistando todas las preguntas relevantes que han de plantearse para identificar los cuellos de botella ambientales. Lo anterior permite hacer mejoras donde se detecten problemas.

Dentro de la misma propuesta de la UNEF para el eco diseño, durante el análisis MET y el Ecodesign Checklist surgen muchas opciones de mejora las que se agrupan de acuerdo a una clasificación de ocho estrategias del ecodiseño. A esta clasificación se le conoce como Rueda Estratégica del Ecodiseño, la cual se ilustra en la Figura 3.

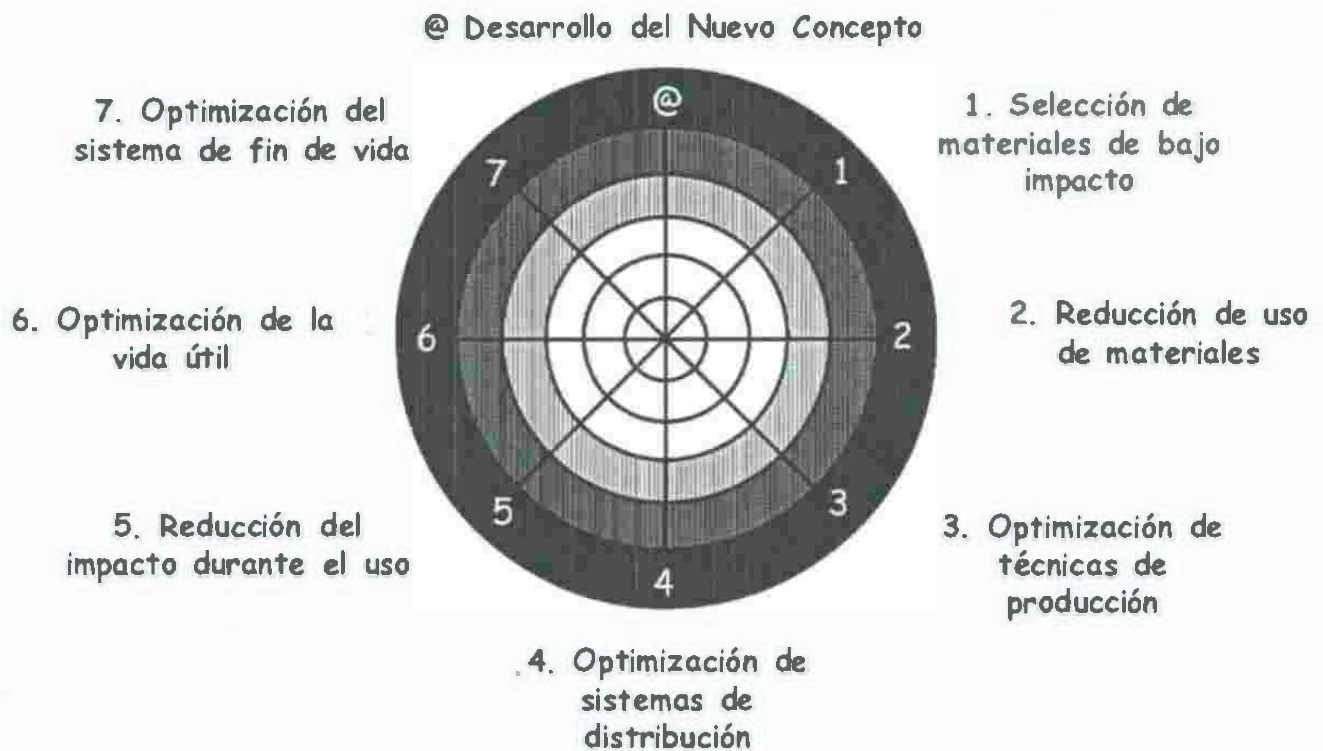


Figura 3. Rueda Estratégica Del Eco-Diseño.

Fuente: Brezet et al (1997).

Moviéndose en el sentido de las agujas del reloj alrededor de la rueda se describen las estrategias asociadas al ciclo de vida del producto, las estrategias del 1 al 7 son opciones que conducen a mejoras ambientales en corto y mediano plazo, mientras que la opción @ "**Desarrollo de un nuevo concepto**" es una opción de mejora a largo plazo, en esta estrategia se desarrollan nuevas soluciones para cubrir necesidades específicas enfocándose en la función del producto y en la forma que satisface una necesidad, para llevarla a cabo se empieza por una evaluación de necesidades como son: **Desmaterialización**, esto no significa hacer el producto pequeño sino incluye reemplazar el producto material con un sustituto no material que satisfaga la misma necesidad; **Uso compartido del producto**, esta opción asume que cuando el producto es compartido entonces se usa más eficientemente; **Integración de funciones**, se obtienen grandes ahorros en materiales y espacio si se puede integrar varias

funciones o productos en uno solo: **Optimización funcional del producto**, se analizan las funciones principales y secundarias de un producto para detectar componentes superfluos.

Las siete estrategias restantes son agrupadas en tres niveles diferentes que corresponden a su vez al enfoque sustentable que se desea dar al producto. El primero de ellos es el **NIVEL COMPONENTES DEL PRODUCTO**, e incluye las estrategias **1. Selección de materiales de Bajo impacto** y **2. Reducción de uso de materiales**. El segundo nivel corresponde a **ESTRUCTURA DEL PRODUCTO** con las estrategias **3. Técnicas para Optimizar la Producción**, **4. Optimización Sistema de Distribución** y **5. Reducción del Impacto Durante el Uso**. Finalmente el tercer nivel corresponde a **SISTEMA DEL PRODUCTO** contempla las estrategias **6. Optimización de Vida útil** y **7. Optimización del Sistema de Fin de Vida**, ver figura 3.

La estrategia 1, Selección de materiales de bajo impacto, se enfoca en el tipo de materiales y tratamientos de la superficie empleados, con el objetivo de seleccionar para el producto los materiales más benignos desde el punto de vista ambiental, por lo cual se prefieren materiales más limpios, materiales renovables, materiales con menor contenido energético, materiales reciclados y materiales reciclables. La estrategia 2, Reducción de uso de materiales, está enfocada a usar la menor cantidad posible de material mediante el desarrollo de diseños de producto ligeros pero fuertes, para ello se busca reducir el peso y volumen. En la estrategia 3, Técnicas para Optimizar la Producción, se enfoca el uso de materiales de bajo impacto ambiental, no utilizar materiales tóxicos y reducir los residuos, esto es la llamada "producción más limpia", para conseguirlo se prefieren técnicas de producción alternativas, menos pasos en la producción, menor consumo de energía, menos residuos durante la producción y menos consumibles. La estrategia 4, Optimización del Sistema de Distribución, busca transportar el producto desde la planta hasta el distribuidor y el consumidor de manera más eficiente lo que se logra mejorando el empaque, el transporte y la logística. En la estrategia 5, Reducción del impacto durante el uso, deben considerarse que consumibles y productos necesarios para su operación se caractericen por tener el menor consumo energético y que este provenga de energías limpias. La estrategia 6, Optimización de vida útil, tiene

como objetivo extender la vida útil técnica (el tiempo durante la cual el producto funciona bien) y la vida útil estética (estado el tiempo durante el cual el usuario encuentra el producto atractivo) y la vida útil inicial del producto de tal manera que el producto habrá de ser usado tanto tiempo como sea posible. Finalmente la estrategia 7. Optimización del sistema de fin de vida está orientada a poder reusar componentes valiosos del producto y asegurar el manejo adecuado de residuos.

III RESULTADOS

VISITAS

Con el fin de conocer las tecnologías empleadas en el tratamiento de aguas se visitó el organismo operador Agua de Hermosillo, teniendo como resultado que existen 23 plantas tratadoras, con una capacidad instalada de 310.5 lps, pero que solamente se tratan 213.8 lps. El uso de las aguas tratadas es para riego agrícola, enfriamiento de turbinas eléctrica, jardinería y riego de campos deportivos (Aguah, 2007). Ver tablas 1 y 2. Destaca entre los resultados que la mayor parte de esas estaciones son propiedad y uso de particulares. Las tecnologías utilizadas son principalmente lodos activados con aeración extendida.

Tabla 1. Principales Tecnologías utilizadas y reusos en las EDAR de Hermosillo, Sonora.

Tipo de Proceso	No. de plantas	Capacidad Instalada Gasto lps	Capacidad en operación Gasto lps	%	Uso
Lodos activados	2	170	120	70.6	Enfriamiento termoeléctrica CFE y áreas verdes
Lodos activados con aireación extendida	14	95.32	48.62	51.0	Áreas verdes y alcantarillado
Biólisis (Fosa séptica)	5	0.73	0.73	100	Áreas verdes
Fisicoquímico	2	44.4	44.4	100	Industria (Planta Ford), áreas verdes, alcantarillado
TOTAL	23	310.45	213.75	68.9	

FUENTE. Aguah (2007), organismo operador de Hermosillo, Sonora.

Esta última tendencia es muy similar a la tecnología usada mayormente a nivel nacional. Las autoridades locales del agua señalan como un gran problema la obtención como subproducto una gran cantidad de lodos residuales los cuales son muy ricos en contaminantes por lo cual demandan nuevas tecnologías que minimicen estos subproductos o que los eliminen (cero emisión). En relación a este problema debe mencionarse que las plantas en operación se deshacen de los lodos arrojándolos nuevamente al sistema de drenaje municipal para que sea transportado aguas abajo. No se encontró información sobre la existencia de alguna planta tratadora de aguas grises.

Tabla 2. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en Hermosillo, Sonora 2007.

	NOMBRE DE LA PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA - Litros por Segundo (lps)	TRATAMIENTO ACTUAL (lps)
1	Unión FENOSA	110.0	60.0
2	Fracc. Los Lagos	60.0	60.0
3	Colegio Regis	1.5	0.8
4	Colegio Vanguardia 1	0.1	0.1
5	Colegio Vanguardia 2	0.1	0.1
6	COBACH Villa de Seris	0.6	0.6
7	Instituto Tecnológico de Hermosillo 1	0.1	0.1
8	Instituto Tecnológico de Hermosillo 2	0.1	0.1
9	Hotel Araiza Inn	0.2	0.2
10	Aeropuerto	2.5	2.5
11	Club Oasis del Pitic	2.5	1.0
12	Costco	0.0	0.0
13	CBTIS	0.0	0.0
14	Coca-Cola	15.0	7.0
15	Versalles	0.5	0.5
16	Ford	27.4	27.4
17	Ford 2	17.0	17.0
18	Aurrera 1	0.5	0.5
19	Aurrera 2	0.5	0.5
20	Villa Verde 1a Etapa	9.5	9.5
21	Los Arroyos	56.5	25.0
22	Corceles	1.0	1.0
23	Inmobiliaria	5.0	0.0
	Total	310.5	213.8

Fuente: Aguah (2007), organismo operador de Hermosillo, Sonora.

Para el diseño de la Estación Depuradora de Aguas Grises (EDAG) propuesta, ver figura 4, se tomó como herramienta el esquema metodológico de la rueda estratégica de eco-diseño ilustrada en la figura 3 además de información relevante presentada en el marco teórico. El diseño de la EDAG propuesto resultó en los ocho componentes estructurales siguientes que constituyen el tren de tratamiento, ver figuras 5, 6 y 7.

A) Tanque séptico donde se efectúa el pre- tratamiento de desbaste, trampa de grasas, primer filtrado y decantado. Aquí se incluye también la primera fase de tratamiento excluyendo los procesos de coagulación y floculación, no se incluye ningún tipo de desinfección. En este dispositivo se logra remover hasta el 60% de los sólidos disueltos y hasta un 35% de la materia orgánica en suspensión según el marco teórico analizado. Ver figura 5 y 6.

B) Reactor de aireación, decantación y separación de tensoactivos por rectificación de espuma. Este dispositivo es la parte modular del sistema pues permite la eliminación de los tensoactivos en suspensión además de inducir la presencia de bacterias aeróbicas por el enriquecimiento del agua con oxígeno teniendo como resultado una disminución muy significativa de materia orgánica en suspensión y de los anfífilos. Ver figura 5 y 7.

C) Reactor químicos de piedra caliza para incremento del pH, decantado, precipitado y primera desinfección. Con el incremento del pH se logra eliminar una buena parte de patógenos sobrevivientes en esta etapa. Figura 5 y 7.

D) Reactor de piedra de tezontle o morusa volcánica para adsorción y precipitado. La piedra de morusa contiene una gran cantidad de macro-poros, meso-poros y micro-poros que inducen la adsorción de los productos resultantes en la estación anterior o cualquier partícula en suspensión de tamaño coloidal no teniendo reacciones químicas por ser materiales inertes. Figura 5.

E) Reactor de mineral de yeso reductor de pH. Esta fase es una segunda desinfección además de disminuir el poder corrosivo del pH alto e inducir la reducción y el precipitado de materiales sólidos en suspensión. Figura 5.

F) Filtro de arenas graduadas para filtrado de precipitados. En esta estación se pretende retener los precipitados obtenidos en la fase anterior y adicionalmente quitar olores y sabores desagradables del agua en tratamiento. Figura 5.

G) Reactor de grafito para separación de minerales de K y Fl. Esta fase es una propuesta no estudiada (no se encontró estudios al respecto) pero se señala en la bibliografía esta característica química de este elemento que puede ser capaz de adsorber los iones minerales señalados. El profesor investigador M. Balcázar (2009) del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Sonora señala que lo anterior es posible y es tema de investigación. Figura 5.

H) Reactor de acrílico o vidrio transparente para una tercera desinfección por UV natural. Etapa final de depuración que pretende aprovechar la luz natural para asegurar la desinfección del agua con los rayos UV solares. Figura 5 y 7.

Estrategias de la Rueda de Eco Diseño aplicadas en el diseño de la EDAG.

La aplicación de las estrategias de la Rueda del Eco-Diseño al diseño de la EDAG dio como resultado las consideraciones siguientes:

@Desarrollo de un nuevo concepto

La idea de depuración de aguas grises en el hogar o *in situ* no es nueva, lo que es nuevo es el concepto de ecodiseño lo cual definió los materiales, sistema de operación, consumibles, etc. No se encontró equivalente alguno del diseño que se propone. La EDAG propuesta satisface la necesidad de tratar las aguas grises, además de que permite el control sanitario de los contaminantes extraídos. El plan propuesto se considera un nuevo concepto, parte del hecho que es más fácil y económico tratar las aguas grises que de algún otro tipo.

Desmaterialización y uso compartido.

El sistema-producto EDAG propuesto se desmaterializa respecto a sus equivalentes al ser diseñados para reusar equipos y efectuar múltiples procesos en sus principales componentes y puede ser compartida en caso de multifamiliares. El tanque séptico, se ha dimensionado considerándolo como depósito de aguas grises con una capacidad de 270 l, éste volumen inicial se determinó para controlar un gasto de 2.1 lps l con un tiempo de concentración de 1.5 minutos de descarga simultanea de lavadora, lavamanos y regadera,

adicionalmente se llevan a cabo el pre-tratamiento, desengrase y primer filtrado. El volumen por tratar deberá tener un tiempo de retardo hidráulico de al menos dos horas en la estación principal de aireación-colapsador de espuma.

1. Materiales de bajo impacto-Reciclado de componentes. Las estrategias 1 y 2 correspondientes al primer nivel enfocado a la estructura del producto se aplican al hacer uso de materiales que son básicamente cilindros de acero y fibra de vidrio. Se propone construir los reactores con cilindros desechados de gas butano o gases refrigerantes sin residuos tóxicos, mientras que el tanque séptico sería de fibra de vidrio.

2. Reducción de uso de materiales. Al diseñarse en módulos se reducen las estaciones y por lo tanto el uso de materiales. El sistema-producto EDAG demanda solo en dos de sus componentes, tanque séptico y desinfectador UV, nuevos materiales.

3 Técnicas para optimizar la Producción La adecuación para reciclar los tanques de gas de desecho es fácil pues sólo necesitan ser pulidos, abiertos en su parte superior y colocar bridas de apertura rápida, orificios para la colocación de sensores, tubos de entrada y salida, módulos reactores y filtros.

4. Optimización sistema de distribución. No aplica.

5. Reducción del impacto durante el uso. El uso de insumos consumibles son naturales como son: morusa o tezontle, piedra caliza, arenas sílicas, grafito y luz solar. La mayoría de estos materiales necesitan un mínimo de energía para su activación y una sola vez.

6. Optimización de la vida útil. Los componentes están diseñados de manera modular aunque pueden ser dispuestos en torreta. Los materiales estructurales no son peligrosos y requieren un mínimo de mantenimiento. Sin consumibles.

7. Optimización del sistema de fin de vida

Los materiales de los reactores son re-fundibles y reciclables. El sistema-producto EDAG es fácilmente desarmable.

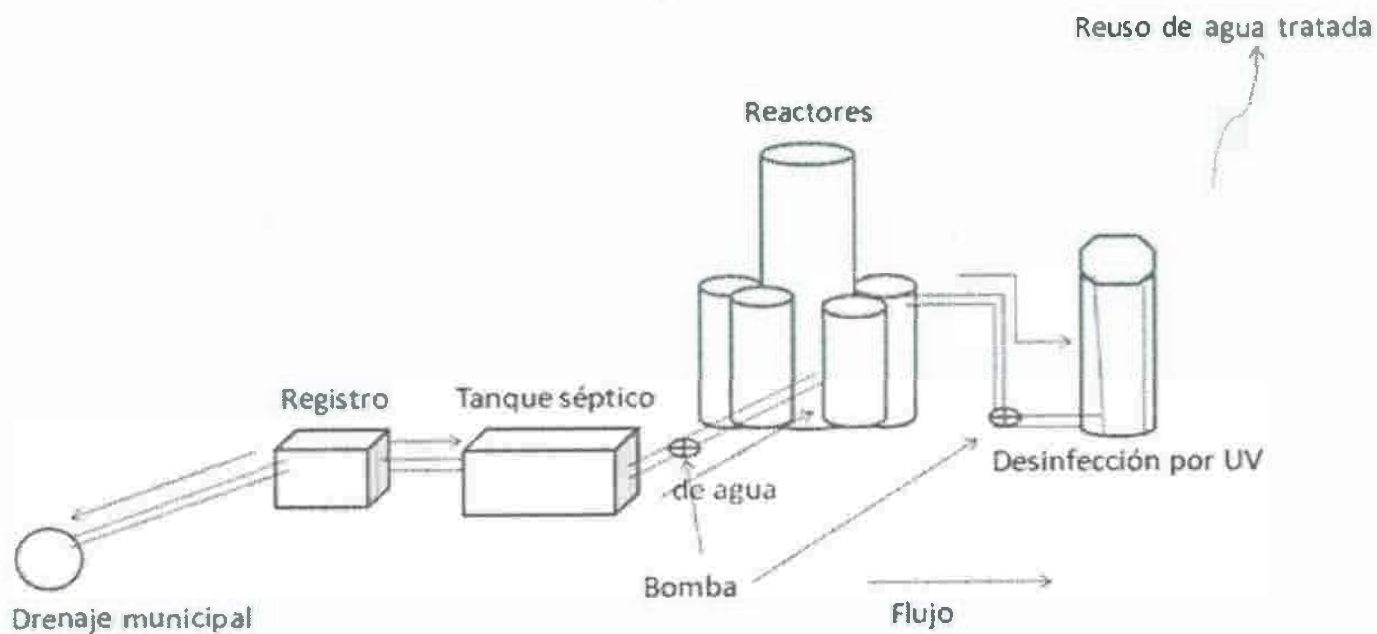
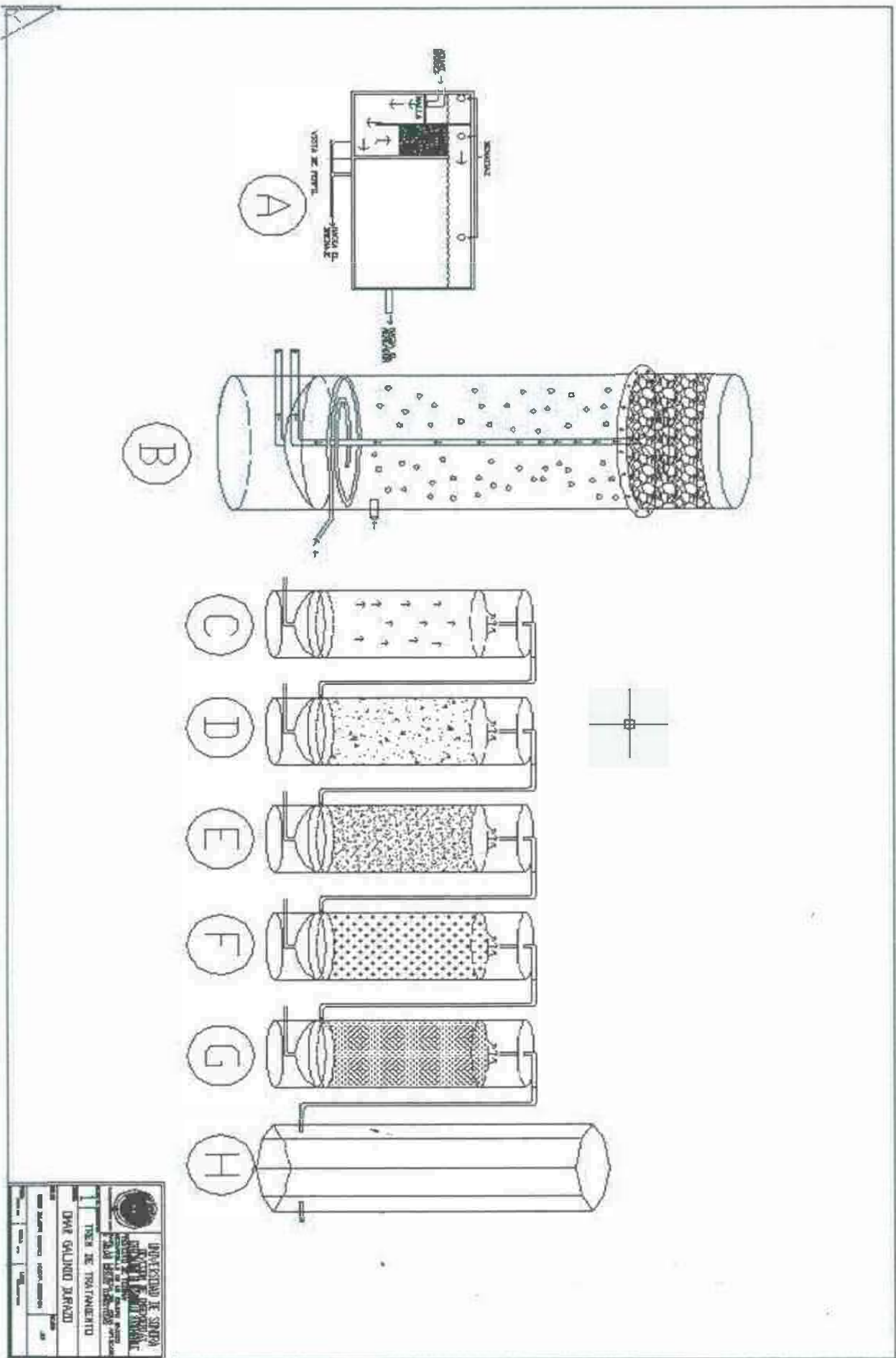


Figura 4. Esquema general de la EDAG

Fuente: Diseño propio del autor



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN AMBIENTE Y TERRITORIO
 TUBO DE TRATAMIENTO
 DISEÑO GALINDO JUAN CARLOS
 2011

Figura 5. Tren de tratamiento
 Fuente: Diseño propio del autor

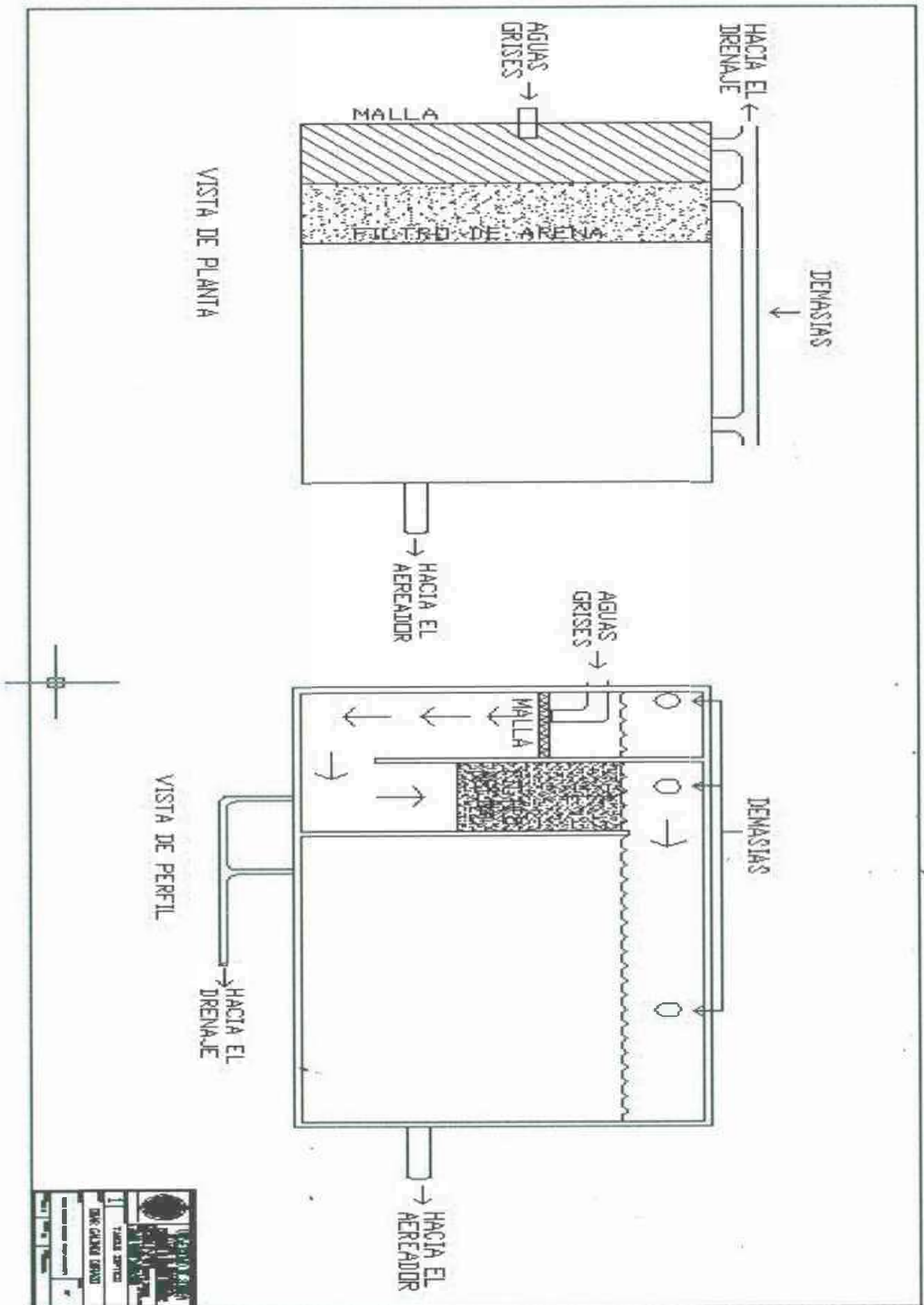


Figura 6. Tanque séptico
 Fuente: Diseño propio del autor

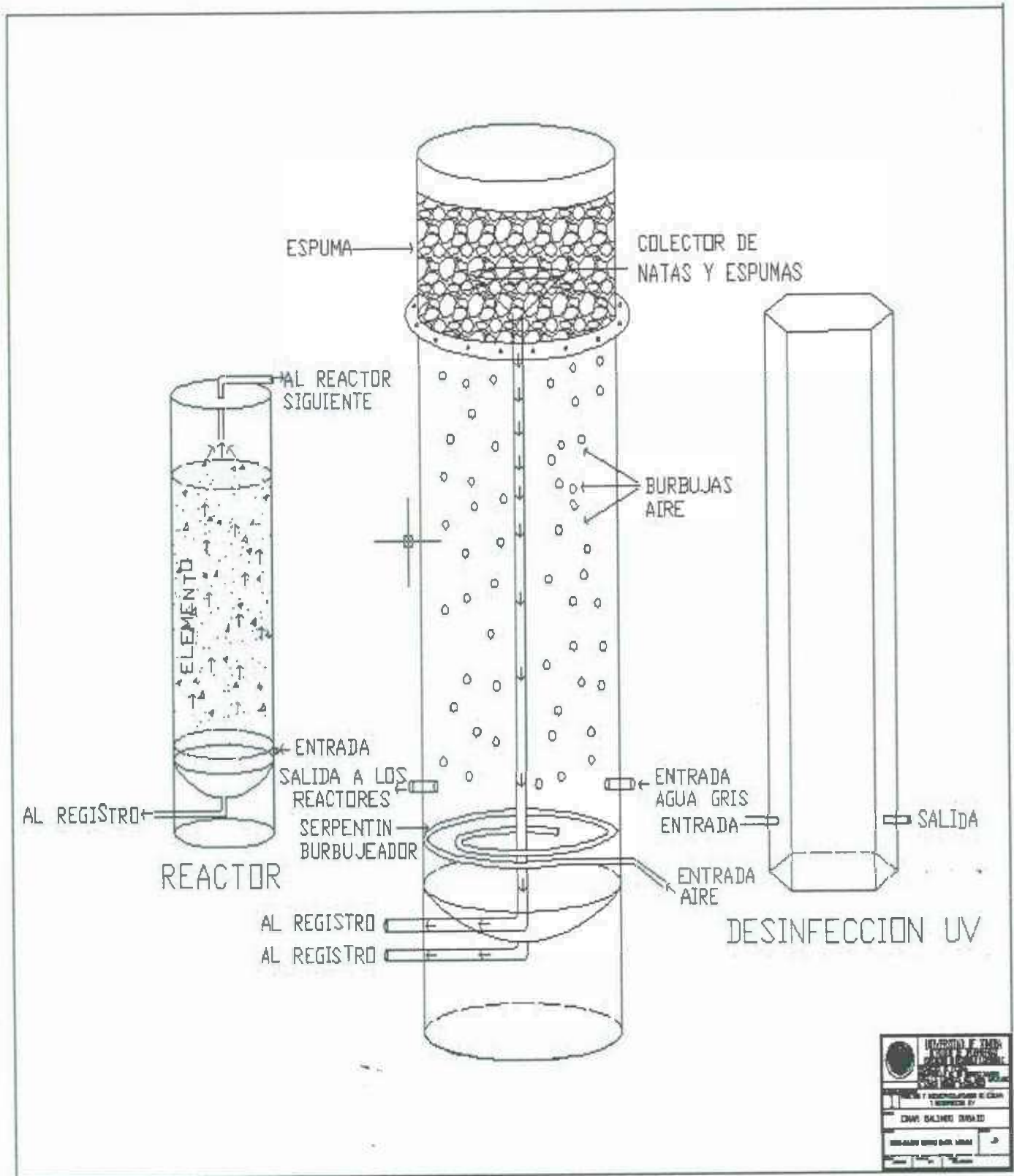


Figura 7. Dispositivos principales

Fuente: Diseño propio del autor

ANÁLISIS

El diseño de la EDAG es resultado de diversos estudios, no necesariamente ligados entre sí, y es aquí donde se integran, se les da continuidad y se desarrolla un diseño práctico. La viabilidad técnica es resultado de los estudios de los investigadores tanto en laboratorio como en campo en la mayoría de sus componentes excepto el uso de grafito en lugar del carbón activado. Se espera que los lodos generados sean muy pocos por la naturaleza misma de las aguas grises y la tecnología usada, por lo cual sean fácilmente desalojados vía registro sanitario hacia el drenaje municipal e igualmente los tensoactivos o detergentes. El uso propuesto de cilindros de gas no deberá afectar la calidad del agua tratada pues se someterán a un pulido interior y exterior, los demás componentes, tanque séptico y desinfectador UV son de materiales inertes. Las aguas tratadas podrán usarse para lavar ropa nuevamente, riego de jardines, enfriadores evaporativos (coolers), limpieza de pisos, banquetas, carros y para excusados. No será apta para consumo humano ni para lavado de manos ni baño personal. El tren de tratamiento de la figura 5 puede tener modificaciones al prescindir de uno o varios pasos según el nivel de tratamiento deseado y uso posterior del agua tratada, por ejemplo del tanque séptico (A) puede pasar directamente al desinfectador UV (H), o bien las estaciones A y B, también es alternativa A, B y D, etc.

La aceptación y puesta en práctica de la EDAG propuesta no se espera sea fácil, tanto en el sector público como en el privado, debido a que tocaría intereses económicos en particular con los empresarios constructores y asesores en plantas tratadoras. En un seminario reciente organizado en esta ciudad por la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción (CNIC), un expositor y empresario del ramo, a pregunta expresa, rechazó la idea de construir pequeñas y medianas plantas tratadoras aludiendo razones de economía de escala, según él, grandes plantas (costosas) disminuyen el costo de tratamiento por unidad de volumen. Lo anterior es contrastado por los investigadores de los países bajos Jules B. van Lier y Gatzke Lettinga (1997) en su artículo "Appropriate Technologies for Effective Management of Industrial and Domestic Waste Water: The Decentralized Approach", donde sostienen, entre otras inconveniencias, que grandes plantas consumen grandes cantidades de energía y producen así mismo grandes cantidades de contaminantes por lo que no son sustentables.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

El estudio permite concluir sobre diferentes aspectos que forman parte de las políticas de sustentabilidad, la conservación del capital natural y del Desarrollo Sustentable (DS) aplicado al diseño. Así, se puede afirmar que el agua es el recurso natural que se constituye en piedra angular de la sustentabilidad y es un asunto de sobrevivencia y por lo tanto del DS. La disponibilidad de agua fresca disminuye diariamente en nuestro medio debido al agotamiento de las fuentes y al crecimiento de la población. El desperdicio del agua acrecienta su escasez así como la contaminación de ella. Cualquier uso que se haga del agua puede contaminarla resultando en las llamadas aguas residuales. Donde las fuentes de agua blancas se han agotado, es posible técnica y económicamente disponer de volúmenes adicionales de este recurso, mediante la depuración de aguas residuales en un corto periodo de maduración.

Entre las aguas residuales destaca por su calidad bacteriológica las aguas grises generadas en los hogares, lo que facilita su depuración y éstas constituyen hasta un 80% de las aguas residuales generadas en ellos por lo que es una buena fuente que se puede aprovechar para su reuso y reciclaje. Los riesgos sanitarios de su reuso son menores que en cualquier otro tipo de agua residual. En Sonora, el consumo de agua potable por una familia de cinco miembros es de 1 m³ diario, por lo que teóricamente se puede recuperar hasta 800 l diarios por familia. Lamentablemente no existe separación, por su uso, de las aguas residuales generadas en los hogares y es poca la tecnología desarrollada para la recuperación de aguas grises y los dispositivos diseñados para tal propósito. Entre los estudios recientes para la recuperación de aguas grises destacan los realizados por Sagredo (2007) y Uribe et al (2007). La tecnología obtenida en esos estudios, entre otros, se tomó como base para el diseño del sistema-producto de la Estación Depuradora de Aguas Grises (EDAG). Las técnicas del DfE son aplicables para el diseño de la EDAG en el nivel de estructura del producto de la Rueda del Eco-Diseño principalmente, obteniéndose un sistema-producto muy viable de producir y funcionar con nuevas opciones y satisfacción de necesidades.

Recomendaciones

Las autoridades del agua locales tienen en su haber una enorme responsabilidad para satisfacer las demandas de agua, por lo que se pone a su consideración tener mayor atención a las alternativas de reciclaje de aguas residuales, como la tecnologías propuestas en el presente trabajo, para incrementar la disponibilidad del recurso en lugar de enfocarse en las mismas opciones que se han seguido y se pretenden desarrollar en lo futuro, todas ellas muy costosas de ejecutar. La depuración de aguas grises domésticas es técnica y económicamente más viables de llevar a cabo.

Como se mencionó anteriormente, las plantas tratadoras en uso en Hermosillo son en su mayoría de tecnología de lodos activados las que generan gran cantidad de éstos y que son arrojados al sistema de drenaje aguas abajo, afectando tierras y aguas. Ante este problema deberá tomarse medidas para su corrección y considerarse una legislación que regule la separación de las aguas antes de ser mezcladas para asegurar su posible tratamiento. Es recomendable desarrollar e investigar nuevas tecnologías sustentables en el tratamiento de aguas grises y construir estructuras especializadas, diseñadas con el uso de la matriz MET, la lista de verificación y la rueda estratégica del eco-diseño, tanto para el hogar como para hoteles incluso para colonias citadinas, con el propósito de reducir costos en la construcción, operación y el uso de consumibles.

V REFERENCIAS

- Aguah. (2007). *Anuario 2007*. México. Agua de Hermosillo.
- Ainzenchtadt E., Ingman D. y Frielder E. (2008). *Quality control of wastewater treatment: A new approach*. Israel. *European Journal of Operational Research* 189(2007) 445-458.
- Anónimo. (2008). *Tratamiento de aguas: Descripción del proceso de las estaciones depuradoras de agua residuales*. México. Obtenido el 23 de diciembre del 2008 en:
<http://www.agua.org.mx/content/category/13/51/35/>
- Anónimo. (2008). *Tratamiento 1º, 2º, y 3º*. Obtenida el 23 de diciembre del 2008 en (URL):
<http://www.sagan-gea.org/hojared/CAgua.html>
- Anónimo. (2008). *Todo es Agua: Agua y Salud*. Obtenida el 23 de diciembre del 2008 en :
<http://www.agua.org.mx/content/9/3/html>.
- Anónimo. (2008). *Fases en el Proceso de Depuración en el Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenida el 18 de diciembre del 2008 en:
<http://www.agua.org.mx/content/view/2809/35/>
- Balcazar Meza, Manuel. (2009). Consulta personal. Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Sonora.
- Brezet H. y van Hemel C. (1997). *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption*. Delf University of Technology. The Netherlands.
- Comisión Nacional del Agua.CNA. (2008). *Estadísticas del Agua en México 2008*. Primera Edición. México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Corzo M. A (1977). *Introducción a la Ingeniería de Proyectos*. México. Editorial Limusa.
- Escalas C. A. (2006). *Tecnologías y usos de aguas residuales en México*. Centro de Investigación y Postgrado, Universidad de San Luis Potosí. México. Obtenida el 1 de enero de 2009 en
[http://tescpar.org/curso chile/a escalas/tecnologias y usos de agua r esiduales en mexico a escala.pdf](http://tescpar.org/curso%20chile/a%20escalas/tecnologias%20y%20usos%20de%20agua%20residuales%20en%20mexico%20a%20escala.pdf)

- Erikson E., Andersen H. R., Madsen T. S. y Ledin A. (2008). *Greywater pollution variability and loadings*. Dinamarca. Ecological Engineering (2008).
- Frielder E., Katz I. y Dosoretz C. G. (2007). *Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination*. Desalination 222 (2008), 38-49. Israel.
- Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental AC. (2006). *El Agua en México: Lo que todos debemos saber*. Libro electrónico. México. Obtenido el 25 de Octubre del 2008 en <http://www.agua.org.mx/content/view/97/108>
- Gilboa Y., Frielder E. (2007). UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. Water Research 42 (2008) 1043-1050 Israel.
- Gross A., Kaplan D. y Baker K. (2006). *Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor*. Israel. Ecological engineering 31(2007) 107-114.
- Guerrero L. M. (2007). *El Agua*. La Ciencia para Todos. México. Fondo de Cultura Económica.
- Halalsheh M., Dalahmeh S. Sayed M. , Suleiman W., Shareef M. Mansour M. y Safi M. (2006). *Greywater characteristics and treatment options for rural areas in Jordan*. Bioresource Technology 99(2008), 6635-6641. Short communication.
- Kemmer F. N., Mc Callow J. (1989). *Manual Del Agua: Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones*. Nalco Chemistry Group. México. Me Graw Hill.
- Kurk F., Eagan P. (2007). The value of adding design for the environment to pollutant prevention assistance options. USA. Journal of Cleaner Production 16 (2008) 722-726.
- Martínez M. A. (2008). *Tratar el agua, propuesta de nuestro tiempo*. Obtenida en diciembre 30 de 2008 en http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista_5/mayra.htm.

- Mazari M. H. (2008). *Urgente tratar el agua en México para su reutilización*. Obtenida en enero de 2009, de http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2008_209.html
- Misra R., Sivongxay A. (2008). *Reuse of laundry greywater as affected by its interaction with saturated soil*. Australia. Journal of hydrology (2009).
- Naciones Unidas. (1992). *Agenda 21, Sección II Capítulo 18*. Brasil.
- Olivares A. E. (2008, 7 enero). *Desarrollan método químico para reutilizar aguas grises*. Periódico La Jornada en <http://www.jornada.unam.mx/2008/02/07/index.php?section=ciencia&com/>
- Pidou M., Avery L., Stephenson T., Jeffrey P., Parsons S. A., Liu S., Memon F. A. y Jefferson B. (2007). *Chemical solutions for greywater recycling*. Inglaterra . Nota técnica. Chemosphere 71, 147.155.
- Ramírez J. S. (ND). *Tratamiento de aguas. Tratamiento primario y parámetros hidráulicos I*. Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Obtenida el 28 de marzo del 2009 en: http://www.monografias.com/tratamiento_de_aguas/
- Reyes L. (2009). *Entrevista personal con el subdirector de Agua de Hermosillo*. México, Organismo operador de agua potable y alcantarillado de Hermosillo, Sonora.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996a). *NOM-001-SEMANART-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. México. Obtenida el 17 de enero de 2009 en http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/acercaSSFNA/PW/CD_NOMS/noms_proy_nmx_semarnat/NOM_AGUA_ECOL/NOM-001-ECOL.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996b). *NOM-002-SEMANART-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. México. Obtenida el 17 de enero de 2009 en: http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/acercaSSFNA/PW/CD_NOMS/noms

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1997). *NOM-003-SEMANART-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. México. Obtenida el 17 de enero de 2009 en: http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/acercaSSFNA/PW/CD_NOMS/noms_proy_nmx_semarnat/NOM_AGUA_ECOL/NOM-001-ECOL.pdf
- Secretaría de Salubridad y Asistencia (1994). *NOM-0127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México. Obtenida el 12 de diciembre de 2008 en http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/acercaSSFNA/PW/CD_NOMS/noms_proy_nmx_semarnat/NOM_AGUA_ECOL/NOM-001-ECOL.pdf
- Sagredo S. C. (2007). *Tratamiento de aguas grises por rectificación en espuma y precipitación*. México. Tesis maestría. Universidad Nacional Autónoma de México
- Uribe G. E., Gutiérrez L. E. (1998). *Remoción de color y turbiedad mediante adsorbentes no convencionales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. XV Congreso Nacional de Hidráulica, Asociación Mexicana de Hidráulica. México.
- van Lier J. B. y Lettinga G. (1997), *Appropriate Technologies for Effective Management of Industrial and Domestic Waste Water: The Decentralized Approach*. The Netherlands. *Water Science and Technologies* Vol. 40 No. 7, pp. 171-183, 1999.
- Widiastuti N., Witi H., Ang M. y Zhang D. (2006). *The potential application of natural zeolite for greywater treatment Australia*. *Desalination* 218 (2008) 271-280. Tomado el 29 de marzo del 2009 en: <http://www.elsevier.com/locate/desal>
- Yardwood J. M. y Eagan P.D. (ND). *Design for the Environment (DfE): Toolkit*. USA. Minnesota Office of Environmental Assistance.

Lecturas Adicionales:

- Bluck J., Beasley D. (ND). *La NASA avanza en el reciclamiento de agua. Nuevos procesos de reciclamiento*. Tomado el 23 de diciembre del 2008 en: http://www.nasa.gov./centers/ames/spanish/news/04_
- Bishop P. (2000). *Pollution Prevention: Fundamentals and Practice*. USA. Mc Graw Hill. 104AR.html
- Centro de Aprendizaje e Intercambio de Saberes en Zonas Áridas. (ND). *Reciclado de Aguas Grises*. México. Universidad Autónoma de Chapingo. Obtenida el 24 de febrero 2009 en: <http://www.uach.edu.com/zonasaridas/>
- Hidalgo T. J., Ortiz R. G., Camacho G. H., Servin J. C., Castro R. J., et al. (2006). *Planeación prospectiva para la investigación científica y desarrollo tecnológico en materia de agua y su gestión*. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ibarra C. F. (2004). *Reutilización de aguas grises*. México. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería. Universidad Autónoma de Guadalajara. Expodime 2004 .
- Guerrero L. M. (2007). *El Agua. La Ciencia para Todos*. México. Fondo de Cultura Económica.
- León G. E. (ND). *Descarga cero. Agua y saneamiento para todos*. México. Fondo para la educación ambiental.
- Luna D., González A., Gordon M. y Martin N. (2006). *Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco*. México. Universidad Autónoma Metropolitana. ContactoS 64, (2007) 39-48.
- Soto F. J. (1996-). *Planta tratadora de aguas grises con floculación natural para casa habitación*. México. X Congreso Nacional Ingeniería Sanitaria y Ambiental. I.P.N. Unidad Oaxaca.
- Paramio J. M. (ND). *Propiedades Físicas y Químicas del Agua*. Argentina. Obtenido el 12 de diciembre del 2008 en: <http://www.maibelmartinez@ciudad.com.ar>
- Quantyka. (2005). *Grafito*. México. Obtenida el 19 de enero del 2009 en: <http://www.quantyka.org.com//grafito.mht>

VI ANEXOS

Tabla A. Caracterización de diferentes tipos de Aguas.





Parámetro	Unidades	Tipo de Agua								
		Agua Natural a	Agua Negra a	Aguas Grises						
				De baño a	Baño lavadora a	Jordania b	Inglaterra b	Suecia b	México c	Israel d
pH		NR	NR	7.3-7.8	6.5-7.6	5-35	NR	7.5	7.0*	NR
SST	mg l ⁻¹	NR	NR	NR	NR	845	NR	NR	50	NR
DQO	mg l ⁻¹	NR	250-800	575-98	144-63	2558	121	588	300	148
DBO ₅	mg l ⁻¹	NR	110-450	166-37	39-17	1056	205	418	140	95
DQO/DBO ₅		NR	1.3	35-0.4	3.7-1.2	2.16	NR	NR	NR	NR
COD	mg l ⁻¹	7-14	80-260	56-7	12-4	NR	171.4	NR	NR	29
TKN	mg l ⁻¹	NR	20-70	16.4-3	7.6-3.0	128	18	9.68	20	NR
Turbiedad	NTU	NR	NR	42-4	35-16	NR	46.6	NR	NR	33
PO ₄ ³⁻	mg l ⁻¹	NR	NR	1.3-0.1	0.5-0.2	18.5	1.66	7.53	11.3	NR
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	NR	NR	1.0-0.3	0.7-0.7	NR	1.2	NR	15.2	NR
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	NR	0	7.5-1.2	3.9-1.6	75	6.7	NR	1.2	NR
NO ₂	mg l ⁻¹	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0.2	NR
TCC	MPN/10 0ml	NR	NR	NR	NR	1.0E-0.7	56500	1.0E-8.1	NR	NR
TFCC	MPN/10 0ml	NR	NR	NR	NR	3.0E-0.5	NR	NR	NR	NR
Escherichia Coli	MPN/10 0ml	NR	NR	NR	NR	2.0E-0.5	6490	1.0E-0.6	NR	NR
Faecal Enterococci	MPN/10 0ml	NR	NR	NR	NR	NR	2790	NR	NR	NR

Fuente: a) Pidou M. et al (2008), b) Halalsheh M. et al (2008), c) Sagredo C. (2008) y d) Gilboa et al (2007). Tabla elaborada por el autor. *Valores máximos promedios para la ciudad de México.

Tabla B. Escalas de clasificación de la calidad del agua

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)		
Criterio	Clasificación	Color
mg/l DBO5 ≤ 3	Excelente No contaminada	Azul
3 < DBO5 ≤ 6	Buena calidad Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
6 < DBO5 ≤ 30	Aceptable Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
30 < DBO5 ≤ 120	Contaminada Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DBO5 > 120	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
Criterio	Clasificación	Color
DQO ≤ 10	Excelente No contaminada	Azul
10 < DQO ≤ 20	Buena calidad Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20 < DQO ≤ 40	Aceptable Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
40 < DQO ≤ 200	Contaminada Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO > 200	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Criterio	Clasificación	Color
SST ≤ 25	Excelente Clase de excepción, muy buena calidad	
25 < SST ≤ 75	Buena calidad Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente Condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	
75 < SST ≤ 150	Aceptable Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas Residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	
150 < SST ≤ 400	Contaminada Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	
SST > 400	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica

Tabla C. Descargas de aguas residuales municipales y no municipales en México al 2007.

Centros urbanos (descargas municipales)		
Aguas residuales	7.66	km ³ /año (243 m ³ /s)
Se colectan en alcantarillado	6.53	km ³ /año (2 07m ³ /s)
Se tratan	2.50	km ³ /año (79.3 m ³ /s)
Se generan	2.07	millones de toneladas de DBO5 al año
Se recolectan en alcantarillado	1.76	millones de toneladas de DBO5 al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.53	millones de toneladas de DBO5 al año
Usos industriales (no municipales)		
Aguas residuales	5.98	km ³ /año (188.7 m ³ /s)
Se tratan	0.94	km ³ /año (29.9 m ³ /s)
Se generan	6.95	millones de toneladas de DBO5 al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.10	millones de toneladas de DBO5 al año

NOTA: DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días.

1 km³= 1 000 hm³ = mil millones de m³.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable y Drenaje y Saneamiento, y Subdirección General Técnica.

Tabla D. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales en México al 2007.

Proceso	Número	Caudal tratado (m ³ /s)	Porcentaje
Biodiscos	6	0.47	0.59%
Filtros biológicos	74	3.56	4.49%
Lagunas de estabilización	646	14.24	17.96%
Lagunas aireadas	26	6.08	7.66%
Lodos activados	417	35.14	44.32%
Primario	13	2.07	2.61%
Primario avanzado	14	8.68	10.95%
R.A.F.A.a	111	1.04	1.31%
Reactor enzimático	59	0.11	0.14%
Tanque Imhoff	59	0.39	0.49%
Tanque séptico	77	0.13	0.16%
Humedal artificial (Wetland)	130	0.48	0.61%
Zanjas de oxidación	20	2.18	2.75%
Otros	58	4.73	5.97%
Total	1710	79.29	100.0%

Nota: a Reactor anaerobio de flujo ascendente.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.