

aat 1779

TESIS IA 2015 B23

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSTGRADO AREA DE INGENIERIA

MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

TECNICA DE PRETRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS UTILIZANDO LA ENERGÍA DISPONIBLE EN LAS REDES DE ALCANTARILLADO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

como parte de los requisitos para optar al Grado de

MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL

Autor: Bausson García José Norberto. Tutor: Viana María Concepción

Caracas, septiembre 2015



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSTGRADO AREA DE INGENIERIA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

ACEPTACION DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado, presentado por el ciudadano José Norberto Bausson García para optar al Grado de Magíster en Ingeniería Ambiental, cuyo título tentativo es: **Técnica de pre-tratamiento de las aguas servidas utilizando la energía disponible en las redes de alcantarillado**; y que acepto asesorar al estudiante, durante la etapa de desarrollo del Trabajo hasta su presentación y evaluación.

En la Ciudad de	, a los días del mes de	de
	·	
	Ing. María Concepción Viana	
	C.I. 4.975.261	



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO DIRECCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO AREA DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

TECNICA DE PRETRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS UTILIZANDO LA ENERGÍA DISPONIBLE EN LAS REDES DE ALCANTARILLADO

Autor: Bausson García José Norberto Tutor: Viana María Concepción

Fecha: noviembre 2015

RESUMEN

Las aguas servidas de origen doméstico representan uno de los más perjudiciales elementos para el ambiente. Su disposición y tratamiento es un reto magnífico para el humano y en las últimas décadas simboliza uno de los asuntos que más esfuerzo ha conllevado, exigiéndose a nivel mundial el cumplimiento de una serie de metas que en diferentes foros, convenciones, tratados, protocolos o acuerdos se han fijado. El pre-tratamiento de las aguas servidas mediante la aplicación de un método que aproveche la energía hidráulica del efluente, el recorrido de las aguas y su movimiento dentro de la propia red de alcantarillado para posibilitar parte del tratamiento, es el tema de investigación aquí planteado.

Hasta la fecha no se ha prestado atención a la posibilidad de desarrollo de un método que motorice equipos, introduzca aire, desbaste sólidos y aplique Rayos Ultravioleta utilizando *la energía disponible en la red.*

Con la aplicación de este método esperamos contener y separar los sólidos; decantar las arenas; reducir el DBO aeróbicamente; desinfectar con la aplicación de Rayos UV; crear turbulencia y; energizar equipos para la aplicación de rayos Ultravioleta.

La investigación y desarrollo de esta idea aplicada en una **red de alcantarillado sanitario** similar a las de zonas agrestes o de topografía con altas pendientes como las de urbanizaciones de Caracas, características idóneas para esta técnica, es lo que nos motiva a presentar este tema de trabajo de grado.



INDICE

CONTENIDO PAGINA
I. EL PROBLEMA6
A. Planteamiento del problema8
B. Objetivos de la investigación
1. Objetivo general11
2. Objetivos específicos
C. Justificación e importancia11
II. MARCO TEÓRICO
A. Antecedentes
1. Antecedentes del problema
Antecedentes de la investigación
B. Fundamentos legales
1. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela,
Capítulo IX, de los Derechos Ambientales:
2. Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial N° 5.833, 22-12-
2006)
3. Ley Penal del Ambiente (Gaceta Oficial N°39.913, 2-5-2012)20
4. Ley de Aguas (Gaceta Oficial N°38.592, 2-1-2007)21
5. Decreto 883: normas para la clasificación y el control de los
cuerpos de agua y efluentes líquidos (Gaceta Oficial N° 5021, 18-
12-199522
C. Fundamentos teóricos
1. Redes:
2. Pre-tratamiento: 28
3. Hidráulica del efluente
4. Energía:
III. METODOLOGÍA38
A. Diseño41
Evaluación preliminar de la información:
2. Cálculo de la energía disponible 42
3. Factibilidad de uso de cada aplicación 49
4. Definición del sitio de implantación:
5. Diseño de los equipos:
6. Medición de los resultados:
B. Hipótesis
C. Análisis e interpretación de datos



CONTENIDO	PAGINA
E. Recomendaciones BIBLIOGRAFÍA TRABAJOS CITADOS GLOSARIO	69
INDICE DE TABLAS	
Tabla 1 Principales parámetros de calidad de las aguas servidas Tabla 2 Decreto 883 calidad de vertidos a cuerpos de agua Tabla 3 Sustancias que pueden generar gases o vapores a la atmósfera des red de alcantarillado en concentraciones superiores a: Tabla 4 Dosis mínimas de radiación. Tabla 5 Dosis mínima aproximada en [J/m2] de radiación a 254nm para la destru del 90% de varios micro-organismos. Tabla 6 Presentación sinóptica de la metodología. Tabla 7 Potencia hidráulica generada Tabla 8 Cálculo de aire en el sistema. Tabla 9 Cálculo de velocidad según Manning. Tabla 10 Caudal a través de orificio Tabla 11 Cargas contribuyentes aguas servidas. Tabla 12 Cálculo del desarenador.	25 sde la33 ucción3440435153
INDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS Grafico 1: Curva de costos anuales de abatimiento de las aguas servidas	54
Figura 1 Eficiencia en la emisión de UV-C 254nm en función de la temperatura Figura 2 Sensibilidad de los micro-organismos a los rayos UV Figura 3 Esquema del sistema de pre-tratamiento propuesto. Figura 4 Detalle del desarenador Figura 5 Detalle de propela y sistema de rayos UV Figura 6 Detalle de lamparas rayos UV Figura 7 Relación diámetro Vs velocidad crítica	32 445 46 47 48



I. EL PROBLEMA

El globo terráqueo y todos sus componentes bióticos y abióticos se han visto afectados por el vertiginoso crecimiento de la humanidad en los últimos años.

La humanidad en el año 2011 alcanzó la cifra de siete mil millones (7.000.000.000) de habitantes, proyectándose a siete mil novecientos sesenta y cinco millones (7.965.000.000) para el año 2025 y a nueve mil doscientos noventa y cuatro millones (9.294.000.000) de habitantes para el 2050 según advierte el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2007). Esto indudablemente significa cada vez mayor presión sobre el ambiente en búsqueda de alimentos, materiales vegetales o minerales, energía, agua y otros elementos indispensables para la vida.

El vasto crecimiento, de magnitudes alarmantes, conlleva hoy en día a innumerables problemas que derivan en contaminación, deterioro, costosas operaciones y presión sobre la posibilidad de vida sobre la Tierra, situación que seguramente se mantendrá con una tendencia nociva al pasar los años.

La aparición de las grandes urbes acompañadas por el desarrollo industrial ha traído como consecuencia una gran demanda de diferentes elementos naturales y, el elemento agua, no se escapa de ello, es más, representa uno de los más afectados ya que su gran utilidad y características vitales lo hacen indispensable para el desarrollo y la vida.

El último siglo, donde se emprenden aplicaciones industriales y de tecnología avanzada, demandó ingentes recursos hídricos y energéticos, traducidos en sistemas de agua potable domésticas o de centros industriales. Estos centros de consumo reciben las aguas en condiciones conocidas como potable o blancas, aptas para el consumo humano o para desarrollar procesos y en el propio uso se produce el deterioro y gasto que la convierte en las conocidas aguas servidas o residuales.

Dentro de la amplia gama, lamentablemente de contaminantes de origen antrópico, encontramos los derivados por descargas de los efluentes domiciliarios, aguas servidas de origen doméstico, las cuales en gigantescas



cantidades contaminan diferentes espacios y cuerpos de agua. Su recolección, conducción y tratamiento requieren denodados esfuerzos y recursos para su mitigación y control. Hoy en día, a nivel mundial, se considera como uno de los primeros degradantes del ambiente.

Ante toda esta situación acelerada de desarrollo y por ende contaminación, el hombre comenzó a ver con gran preocupación el asunto y es por ello que se declara a nivel mundial, Naciones Unidas, la década de los ochenta como la década del agua.

A continuación y como un hecho concatenado, la OMS, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial (BM), declaran la de los noventa como la década del saneamiento.

Estas manifestaciones internacionales dejaron claro que el problema requiere de grandes esfuerzos, conocimiento y recursos por lo que el tema es muy sensible y relevante. El tratamiento de las aguas servidas y su consecuente protección al ambiente se considera como un tema vital para el planeta y sus recursos hídricos ya que las estadísticas y propia percepción del humano le está señalando lo peligroso que sería continuar golpeando nuestros ríos, lagos y mares derramándoles aguas contaminadas que inciden particularmente en la biota y la salud pública.

El caso venezolano representa una típica situación donde la generosidad de la naturaleza ha puesto a la orden de la población grandes cantidades de agua provenientes de ríos o lagos despreciándose el valor de este elemento cuyo mal uso se traduce en consumos altísimos de agua potable *Per cápita* y en contaminación de ríos, lagos y mares por descargas no tratadas.

Como ejemplo, en nuestra ciudad capital, Caracas, los tributarios del Río Guaire han sido en su mayoría utilizados como una cloaca abierta receptora de las aguas servidas de los sectores aledaños (sectores de crecimiento irregular) y ni siquiera existe la posibilidad de un tratamiento convencional de las aguas servidas por falta de espacio.



Por otra parte, el control y tratamiento de los efluentes de aguas servidas de origen doméstico tiene especial importancia ya que su crecimiento va en concordancia con el de la población y su potencial como servicio público.

Nuestra experiencia en esta área nos ha llevado a pensar en la posibilidad de aplicar algún pre-tratamiento que aproveche un elemento común en todas estas infraestructuras sanitarias con grandes pendientes: energía potencial y cinética presente en estas redes o tuberías y que podrían motorizar algunos equipos o elementos o generar directamente pre-tratamientos.

Las generaciones presentes y futuras tienen el compromiso de perpetuar la vida sobre la tierra-principio ambientalista fundamental-y eso sólo será posible si enfrentamos los retos de la contaminación y deterioro del ambiente en forma al menos eficaz, posibilitando a las generaciones futuras su permanencia y crecimiento.

Trataremos en este trabajo de investigación aportar humildemente algunas definiciones, hipótesis, teorías, técnicas y aplicaciones que coadyuven en el manejo de este problema.

A. Planteamiento del problema

En los últimos años se han desarrollado numerosos métodos de tratamiento para efluentes pero siempre éstos están instalados en su punto final de descarga (plantas de tratamiento convencionales) o, en ciertos casos, antes de incorporarlo a las redes (cámaras sépticas).

El problema objeto de este trabajo es gestar nuevas formas de pretratamiento de las aguas servidas de origen doméstico cuya aplicación específica estará en las propias redes de conducción de los efluentes.

Las aguas servidas de las ciudades contienen fundamentalmente altos DBO₅, condición que demanda grandes cantidades de oxígeno para su oxidación durante los primeros 5 días, afectando el nivel de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor, así como, sólidos suspendidos totales (SST). También presentan otras condiciones características tales como: demanda química de



oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo, aceites y grasas. La carga contaminante, o simplemente el contaminante, es la materia a reducir y los costos totales en que se incurre son para controlar el conjunto de sustancias que contienen las aguas y llevarlas a niveles que exige la norma sobre la materia. Para el control de la contaminación que provocan las aguas servidas de las ciudades se construyan lagunas o plantas de tratamiento al final del proceso.

Después de ser utilizadas por el humano, el agua se convierte en aguas servidas y deben ser recolectadas, conducidas, tratadas y descargadas bajo una serie de normas y condicionamientos y el caso Venezolano instruido en la Ley Orgánica del Ambiente, artículos 19, 20 y 21, Ley de Aguas, y Decreto 883, capitulo III.

Todo lo anteriormente expuesto nos permite entender la cantidad de variables que intervienen en el proceso y su importancia.

Los altos costos, complejidad y frecuencia de este tipo de tratamiento hacen de este tema un gran reto que exige para el cumplimiento de las normas sanitarias y ambientales el uso de grandes extensiones de tierra, tecnologías de alta demanda energética, complejas plantas y costosísimas operaciones que en muchos casos generan abandono de las instalaciones, casos típicos en nuestro país.

Los costos para la operación y el mantenimiento de las plantas derivados del uso de energía, sustancias químicas, personal y reposición de equipos inducen a la búsqueda de soluciones que permitan mejorar la calidad del líquido antes de arribar a las plantas, disminuyendo el esfuerzo y los costos.

En nuestro análisis consideramos que una gran cantidad de redes de aguas servidas tienen condiciones favorables para aplicarle este proceso o técnica de pre-tratamiento. Estas redes pueden tener diferentes condiciones físicas (longitudes, pendientes, diámetros), hidráulicas (caudales, velocidades, presiones, turbulencia) o sanitarias (DBO, sólidos, color, olor, organismos patógenos, etc.), condiciones que las hacen susceptibles de este tipo de pre-tratamiento.



La caracterización de las redes para determinar la posibilidad de aplicación de esta técnica de tratamiento, el aprovechamiento de la energía disponible dentro de las redes y la aplicación de una técnica que coadyuve en el proceso de tratamiento eficientemente sería un gran aporte a esta problemática mundial.

Lo aquí planteado, desarrollo de un método que aproveche la energía disponible en las redes para el pre-tratamiento, parecería una adecuada forma de reducir los contaminantes presentes en estos efluentes y una posibilidad en los sectores sin espacios- condición común en sectores de fuertes pendientes- para ubicar plantas de tratamiento.

Si de alguna manera esta investigación posibilita la mejora de algunos parámetros de calidad, significaría un gran avance en los programas de tratamiento y podría ser adaptado por diferentes organizaciones o instituciones en pro de la optimización de sus recursos y del ambiente.

Los cálculos se fundamentaron en un supuesto centro poblado cuyas características cumplieran con las exigencias que este tipo de pre-tratamiento exigen.

La población equivalente se estimó en SIETE MIL (7000) habitantes con una dotación de 250 l/hab/día, dando un total de VEINTE (20) l/seg; al aplicarle el factor de reingreso de 0,8 el efluente a tratar se calculó en DIECISEIS (16) l/seg.



B. Objetivos de la investigación

1. Objetivo general

Desarrollar un método que posibilite mejorar la calidad de las aguas servidas en las redes aplicándole uno o varios procesos físicos, químicos o biológicos utilizando para ello la energía disponible en las redes.

2. Objetivos específicos

- a. Evaluar física, hidráulica y sanitariamente una red de aguas servidas en función de la posibilidad de aplicación del método
 - b. Ubicación de la infraestructura y cálculo de la energía disponible.
- c. Caracterización y diseño de las partes y los equipos para el pretratamiento.
 - d. Especificaciones de la instalación y el montaje.

C. Justificación e importancia

El tratamiento de las aguas servidas representa dentro de las dificultades de esta materia uno de los más complicados escollos. Cada ser humano de los países desarrollados o en desarrollo demanda diariamente unos 250 l/s en promedio y de estos el 80% se descarga por las redes de disposición (Rivas Mijares, 1978) a una planta de tratamiento, descarga submarina, laguna de oxidación o simplemente cuerpos de agua.

El tratamiento de las aguas servidas constituye, dentro del contexto general (recolección, conducción y disposición) el punto más álgido. Son necesarios complejos y costosos procesos, amplios espacios y la aplicación de las exigencias incluidas en las respectivas leyes, y requerimientos a los ciudadanos, de costos y esfuerzos, que aun en Venezuela no tienen inercia y constantemente se incumplen, siendo el propio Estado el principal contamínate de los cuerpos de agua.



El costo promedio por el tratamiento de las aguas servidas está, según detalla el Banco Mundial (1990) en un (1,00) dólar por habitante/día, valor que refleja la magnitud y complejidad del problema, siendo este un monto difícil de pagar por algunas comunidades y países.

Los costos en que se incurre para abatir los niveles de contaminantes o tratar aguas servidas, son directamente proporcionales al caudal a tratar y a la concentración de contaminante, lo que se resume en la carga; por otra parte, alrededor de un 70 % del costo de inversión corresponde a las obras civiles, mientras sólo un 30 % se relaciona con equipos de tratamiento (*Saavedra*, 2004).

A continuación mostramos un gráfico preparado por el gobierno Chileno, año 1997, donde reflejan los costos asociados al tratamiento de las aguas servidas por kg/día-dólar. Con ello se pretende ilustrar la situación y sus costos.



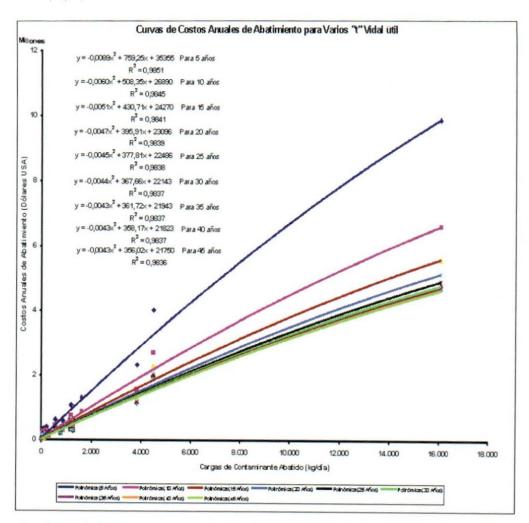


Grafico N°1: Curva de costos anuales de abatimiento de las aguas servidas. Fuente Gobierno Chileno INE 1997

El gráfico anterior pretende ilustrar al lector sobre lo importante que resulta dentro de los costos de los servicios públicos el tratamiento de las aguas servidas.

Con la aplicación de esta técnica se aportaría un pre-tratamiento que posibilitaría la disminución de las inversiones en las plantas y por ende su envergadura, más la disminución de las operaciones y sus costos asociados.

Adicionalmente, el uso de una energía que se desperdicia, traerá como consecuencia una disminución de este gasto energético, bajando la presión a su generación e impacto ambiental.

Este método, probadas sus bondades, sería propicio en ciudades de topografía accidentada, como por ejemplo la de Caracas, en virtud de las



características físicas de los conductos que conducen los efluentes provenientes de la falda del Ávila, o del ramal sur de la cordillera, con grandes pendientes y caudales.

En las ciudades de gran densidad el uso de los espacios es realmente complicado y las plantas de tratamiento de aguas servidas requieren importantes espacios. Una idea: para tratar las aguas de una población de 100.000 habitantes hace falta entre 4-8 hectáreas para la ubicación del tratamiento; si este método posibilita al menos rebajar esto en un porcentaje habríamos adelantado significativamente.



II. MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes

1. Antecedentes del problema

El humano a través de su historia ha emprendido una serie de trabajos y actividades dirigidas a mejorar su calidad de vida. La disposición de las aguas servidas en sépticos o su conducción a redes significó un salto en el área sanitaria sumamente importante que redujo las enfermedades y mejoró notablemente los indicadores de morbilidad y mortalidad infantil.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (diferentes años y estudios), la buena disposición de las excretas constituye un factor determinante en el desarrollo de los pueblos.

Por otro lado, el mejoramiento de la calidad de vida del humano trae como consecuencia la contaminación de las aguas, de ríos, lagos o mares por lo que el tratamiento es indispensable si queremos respetar el ambiente y resguardar el futuro.

Por lo antes expuesto, el asunto no solo se remite a la disposición: el tratamiento de las aguas residuales generadas por las poblaciones urbanas o rurales obliga a la aplicación de diferentes técnicas que permitan minimizar el impacto tanto en lo ambiental como en lo económico. En el caso de descargas de aguas servidas en nuestro territorio, éstas deben estar sujetas a las regulaciones impuestas en la legislación vigente, específicamente Decreto 883: calidad de vertidos a cuerpos de agua.

Dentro del tema de las aguas servidas, el problema del tratamiento ha sido motivo de innumerables estudios, tratados e investigaciones que constantemente buscan mejorar los procesos (libros, tesis, revistas, publicaciones a nivel mundial). Numerosas publicaciones del Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) documentan esta información.





En las últimas décadas se ha avanzado constantemente en la solución de este problema pero sigue siendo difícil y oneroso.

Entre los tratamientos utilizados aeróbicos, anaeróbicos, biológicos, físicos, químicos u otros, su selección depende de la adecuación al problema particular. En el caso Latinoamericano Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), o El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), las técnicas extensivas (poco equipamiento y mucho espacio) ha dado mejores resultados ante la poca conciencia y experiencia en operación y mantenimiento de estas instalaciones. Sin embargo, en las zonas urbanas esto normalmente no es posible y se requiere desarrollar el proceso en pequeños espacios, lo que debe compensarse con la instalación de equipos que conviertan el sistema de tratamiento en intensivo.

Las plantas de tratamiento están conformadas por diferentes construcciones, equipos, y materiales que ante la agresividad de estas aguas tienen una vida útil corta. Los costos operativos son altos y hay poca garantía del cumplimiento de las exigencias. Todo esto ha generado que a nivel mundial se apliquen diferentes tecnologías para el tratamiento, y grandes plantas se han construido en muchísimos países. En el caso venezolano, se trata aproximadamente el sesenta por ciento (60) % de las aguas (HIDROVEN 2005), lo que no quiere decir aguas que cumplan con las normas exigidas para descargar, y se usan métodos aeróbicos, anaeróbicos, biológicos o físicos, incluyendo combinaciones entre ellos, y han traído, unos más otros menos, buenos resultados. En el caso de Caracas el tratamiento prácticamente es cero.

El desarrollo de una técnica que posibilite la disminución de la dificultad en el tratamiento, corrigiendo dentro de las mismas redes, por ejemplo: la cantidad de sólidos en suspensión o el tamaño de éstos mediante el uso de trituradores o cribas; la demanda bioquímica de oxígeno aplicando altas ratas de aire para corrección aeróbica; la inactivación de los microorganismos por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus



ácidos nucleicos o; cualquier otro proceso que mejore la calidad (Wright y Cairns, 2000).

2. Antecedentes de la investigación

A la fecha se han desarrollado numerosos estudios e investigaciones que desarrollan el tratamiento antes de la red, por ejemplo pozos sépticos, o al final, con planta de tratamiento convencional.

A nivel nacional, luego de la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) en el año 1943, se dictaminaron las primeras líneas para el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas servidas de origen doméstico. Luego con la creación del Ministerio del Ambiente (1975) se actualizan e incluyen las bases que regirían el área.

El tratamiento en Venezuela comenzó, como en la mayoría de los países, con sistemas individuales como los pozos sépticos; luego se desarrollaron las conocidas "lagunas de oxidación" que no son más que estuarios naturales donde se producen procesos biológicos.

Posteriormente ante las nuevas exigencias ambientales y sanitarias se comenzó a diseñar e instalar los sistemas de lagunas combinadas: aeróbicas-anaeróbicas y de maduración que se construyen en forma extensiva sobre terreno natural y que en forma escalonada procesa las aguas sin aditamento o inclusión de equipos.

Luego se comienzan los diseños de plantas de tratamiento con procesos inducidos o acelerados por equipos inyectores de oxígeno y cámaras anaeróbicas; después con diseños donde se incluían principalmente equipos como lo de desbaste, desarenado, separación de lodos; con instalaciones que cada vez ocupaban menores espacios al utilizar técnicas intensivas de aplicación de aire, canjilones mecánicos, reactores aeróbicos, anaeróbicos, etc; con técnicas llamadas de pulimento o tercera etapa donde se incluyen los tratamientos biológicos y la separación y utilización de lodos activados.

Como se puede observar, el hombre ha venido evolucionando aceleradamente en este campo pero sigue siendo muy complicado y costoso



el adecuado tratamiento de las aguas servidas y siempre el tratamiento se produce al final de la recolección y conducción antes de la disposición final.

Durante el proceso de recopilación de antecedentes no se encontraron trabajos en los que el tratamiento se realiza sobre la propia red, por lo que se desconoce cuál ha sido el grado de implantación de esta metodología a nivel mundial. Por lo pronto, en la búsqueda realizada en las páginas Web de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), en el Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPSAS) y el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales (MPPARN), Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) no se ha encontrado algo preciso sobre este tema particular.

A través de Internet se ha adelantado la tarea de investigación sobre el tema pero hasta el momento no se ha encontrado nada similar. Para subsanar esta dificultad se decidió extrapolar o establecer semejanzas con los procesos en planta, pues se trata de tratamientos cuyos fundamentos son similares pero que deben adaptarse en espacio, uso de energía y aplicación utilizando los recursos que genera la propia red de aguas servidas o sus características físicas, por lo tanto, los libros y tratados sobre los temas de tratamiento, generación de energía e hidráulica serán la base para desarrollar esta tecnología.

En lo que se refiere a los espacios: cada red de aguas servidas tiene sus características físicas (longitud, diámetros, clase de material, pendientes, caídas), hidráulicas (caudales, velocidades, energía disponible) y sanitarias (DBO, pH, sólidos, coliformes, fósforo, nitrógeno) particulares y es al final del trayecto o red donde se debe crear o construir el lugar para instalar el futuro sistema. El área necesaria va a depender de los caudales y la calidad de las aguas.

Respecto al uso de la energía disponible, esta deberá captar y utilizar mediante una rueda o turbina la potencialidad del sistema, lo que igualmente



dependerá del caudal disponible y sus velocidades. Los métodos se definirán al lograr un inventario del sistema y de los análisis de calidad.

B. Fundamentos legales

La legislación ambiental venezolana comenzó con regulaciones específicas en el año 1976, cuando decretó la Ley Orgánica del Ambiente, marco de trabajo del MARNR creado ese año y siendo el primer ministerio de esta clase en América Latina. De esa fecha hacia acá la legislación venezolana ha venido perfeccionándose y se han promulgado varias leyes y decretos que conforman un marco jurídico a la altura de la problemática del sector ambiente.

En el año 1992, el gobierno venezolano sanciona la Ley Penal del Ambiente, representando un avance importante en el manejo ambiental, y en la Constitución de 1999 se incluyen artículos precisos sobre el tema.

A continuación presentamos extractos de la Constitución y las leyes existentes para el control de efluentes.

 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Capítulo IX, de los Derechos Ambientales:

Artículo 127: "es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro....."

Artículo 128: "El estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geológicas, poblacionales, sociales..."

Artículo 129: "Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañados de estudios de impacto ambiental y socio cultural...."

Un Capítulo de la Constitución, el IX, se encuentra especialmente dedicado a los derechos ambientales, no solo enfocado en los recursos naturales sino con una visión holística del sistema o la totalidad de todos los actores involucrados, siendo el caso que nos atañe, la contaminación



por descargas de aguas servidas de origen doméstico, uno de los problemas de orden universal que más perjudica al ambiente

2. Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial N° 5.833, 22-12-2006)

Establece las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y sociedad, de contribuir a la seguridad y al logro de la población y al sostenimiento del planeta, para el interés de la humanidad.

En el Art. 43 se establece que toda persona tiene el derecho y el deber de denunciar a las autoridades competentes, cualquier hecho que atente contra un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado. Según el Art. 57, el tratamiento de aguas se considera necesario para la conservación de la calidad del agua.

Para preservar el ambiente y prevenir y controlar la contaminación y degradación del suelo y del subsuelo, las autoridades ambientales deben velar la aplicación de las prácticas apropiadas para la manipulación de sustancias químicas, y la manipulación y disposición final del desecho doméstico, industrial, peligroso o cualquier tipo de desechos que puedan contaminar suelos. (Art. 63). Finalmente el Art. 80 considera las actividades capaces de degradar el ambiente.

3. Ley Penal del Ambiente (Gaceta Oficial N°39.913, 2-5-2012)

Tiene por objeto tipificar los delitos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece las sanciones penales correspondientes. Así mismo, determina las medidas pre-cautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar.

En el Artículo 3 se establece que independientemente de la responsabilidad de las personas naturales, las personas jurídicas serán sancionadas de conformidad con la Ley penal del Ambiente, en los casos que el hecho punible descrito en ésta haya sido cometido por decisión de



sus órganos, en el ámbito de la actividad propia de la entidad y con recursos sociales y siempre que se perpetre en su interés exclusivo o preferente. En los Art. 5 y 6 se establecen las sanciones a la persona natural y as sanciones a las personas jurídicas, respectivamente.

4. Ley de Aguas (Gaceta Oficial N°38.592, 2-1-2007)

El objetivo de esta Ley es establecer las disposiciones que gobiernan la administración integral de aguas, como elemento imprescindible para la vida, de bienestar humano, y el desarrollo sostenido del país, es de carácter e interés estratégico para el Estado. A continuación presentamos algunos artículos completos o en forma parcial que se refieren al tema en cuestión:

En el Artículo 12 se establece que el control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

- -El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en los efluentes líquidos generados por fuentes puntuales.
- -El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.
- Las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas másicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

El Artículo 13 se refiere a que los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas, de conformidad con las disposiciones establecidas de esta Ley y demás normativas que la desarrolle.

El Artículo 82 se refiere al uso de los cuerpos de agua continentales y marinos, como cuerpos receptores de efluentes líquidos, lo que está sujeto al cumplimiento de la normativa ambiental en la materia.



El Artículo 113 habla de las sanciones de multa previstas en la Ley: se aumentarán al doble en los casos de:

- Agotamiento de cualquier fuente de agua por sobreexplotación.
- Contaminación de acuíferos o de fuentes superficiales.
- Contaminación por vertido de sustancias, materiales o desechos peligrosos.
- Usos que afecten o pongan en riesgo el suministro de agua a poblaciones.

El Artículo 119 se refiere a que toda persona natural o jurídica, pública o privada, que realice acciones sobre el medio físico o biológico relacionado al agua que ocasionen o puedan ocasionar su degradación, en violación de los planes de gestión integral de las aguas y las normas técnicas sobre la materia, será sancionada con multa de cincuenta unidades tributarias (50 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.).

El Artículo 124 se refiere a toda persona natural o jurídica, pública o privada, será sancionada con una multa de cincuenta unidades tributarias (50 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.), si en contravención a lo dispuesto en esta Ley, su reglamento, en las normas técnicas sobre la materia realiza cualquiera de las siguientes actividades:

- -Establezca o mantenga en funcionamiento una instalación o realice una actividad capaz de degradar la calidad de las aguas, sin cumplir con los límites de calidad de vertidos.
- -Descargue, infiltre o inyecte en el suelo o subsuelo vertidos líquidos contaminantes.
- Decreto 883: normas para la clasificación y el control de los cuerpos de agua y efluentes líquidos (Gaceta Oficial N° 5021, 18-12-1995)

Este decreto establece las normas de control de calidad de los cuerpos de agua y de los efluentes líquidos. El Art. 3 establece la clasificación de los tipos de agua. El Art. 8 menciona que todas las



actividades que generen efluentes líquidos que pueden contener elementos tóxicos o dañinos están sujetas a las disposiciones establecidas en este Decreto.

En el Art. 10 de este Decreto se establecen los rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses

De acuerdo al Art.15 de este Decreto, los parámetros de calidad de los efluentes líquidos descargados o a ser descargados al sistema de alcantarillado no deben exceder los límites permitidos establecidos en el mismo.

Está prohibida la descarga, infiltración o inyección en el suelo de cualquier efluente líquido, tratado o no, y el uso de sistemas de aguas pluviales para la disposición de efluentes líquidos (Art. 16 Art. 19).

Las instalaciones con las actividades listadas en el registro deben prestar al Ministerio del Ambiente la caracterización de sus efluentes, por lo menos una vez cada tres (3) meses (Art. 26).

C. Fundamentos teóricos

Las aguas en su condición natural son conocidas como aguas blancas y se consideran potables si cumplen con una serie de condiciones físico-químicas y bacteriológicas. Estas aguas al contaminarse cambian sus características y se convierten en las conocidas aguas servidas.

A continuación presentamos los valores permisibles para la descarga en cloacas establecidos en la norma correspondiente, los cuales serán empleados en el presente trabajo como punto de partida para la calidad de los efluentes de origen doméstico (tablas N°1 y N°2).



Tabla N°1 Parámetros de calidad de las aguas servidas

Contaminantes.	Unidad.	Afluente
DBO ₅	mg/l	350
Sólidos Suspendidos	mg/l	400
Nitrógeno Total	mg/l	40
Fósforo Total	mg/l	10
Temperatura		≤40
Coliformes fecales	NMP/100ml	10'
Aceites y Grasas vegetales y animales	mg/l	150

Fuente: Decreto 883, sección V: de la descarga a redes cloacales (1995)

Las aguas servidas de origen doméstico deben ser reducidas para cumplir con los valores máximos permitidos de vertido, según:



Tabla N° 2: Decreto 883 calidades de vertidos a cuerpos de agua

Aceites minerales e hidrocarburos	áximos o rangos
	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales.	20 mg/l
Alkil Mercurio No detectable (*)	
Aldehidos	2,0 mg /l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 Unidades de
Pt-Co	
Cromo Total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno	
(DBO5,20)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma Ausente	
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
рН	6-9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
	5,0 mg/l
Zinc	
Zinc Riocidas	o,o mg/r
Zinc Biocidas Órgano fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l



<u>Parámetros Biológicos</u> Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

<u>Diferencial de temperatura</u> En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otra aguas arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

Fuente: Decreto 883, sección III: de la descarga a Cuerpos de Agua (1995)

Los valores antes mostrados, en las tablas N°1 y N°2, nos indican los valores permisibles de descarga en redes cloacales.

El caso que nos compete, pre-tratamiento, representa una escala en el tratamiento, una etapa de pre-acondicionamiento donde se atacaría: la turbidez (NTU), DBO₅, olor, color y elementos patógenos, parámetros estos en los que la norma no establece valores límites.

1. Redes:

Normalmente las redes están conformadas por tuberías de concreto o PVC. Se estima como un número indicador general que por cada habitante en áreas urbanas hace falta un metro de red. En los textos: Juan José Bolinaga (1999), Sistemas de Abastecimiento de Aguas, y en Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial (1990), Libro de Consulta para Evaluación Ambiental (Volumen I; II y III, 1993) ahondan sobre este particular. A continuación presentamos la tabla N°3 contentiva de datos particulares en la propia red de aguas servidas.



Tabla N°3 Sustancias que pueden generar gases o vapores a la atmósfera desde la red de alcantarillado en concentraciones superiores a:

Sustancias	Partes por millón (p.p.m.)	
Amoníaco	100	
Monóxido de Carbono	100	
Bromo	100	
Cloro	1	
Ácido Cianhídrico	10	
Ácido Sulfúrico	20	
Dióxido de Azufre	10	
Dióxido de Carbono	5000	

Fuente: Estadística del Gobierno Chileno INE, Wikipedia (2005)

Las redes de tuberías tienen la función de recolectar y transportar el efluente hasta el punto de descarga final. Sus características han sido diseñadas para cumplir con una serie de normas que restringen el tipo de material, las velocidades internas, el diámetro, su forma de colocación, deflexiones, carga máxima, etc. Las autoridades nacionales (Antiguo INOS, HIDROVEN, empresas Hidrológicas) tienen muy claro cuáles son las normas a respetar y cada proyecto debe cumplir con ellas.

En el caso Venezolano, los autores más conocidos como Ing. G. Rivas Mijares, 1978, Simón Arocha, 1978, Juan José Bolinaga, 1999, Santos Michelena, 1985, Francisco Camacho, 2005, y muchos otros han presentado libros y manuales que sirven de apoyo a los proyectistas y constructores de redes de aguas servidas.

Sin embargo, la información o base más común utilizada para los diseños y control de obras son "Las normas INOS, 1977", Las Normas INOS-HIDROVEN, 2005 y el MANUAL DE CALIDAD Y TRATAMIENTO, American Water Work Asociation, 2002. En ellas se explicitan las normas de las actividades y su forma de ejecución y pago y son la directriz de la mayoría de los constructores de obras.



Ahora bien, en nuestro caso el análisis de la red con la finalidad de precisar el o los puntos donde podríamos instalar un pre-tratamiento implica obtener las características en planta y perfil, los caudales, las velocidades y caídas en Bocas de visita. Conociendo estas condiciones podemos, primero, considerar el sistema apto para el tipo de pre-tratamiento y segundo, caracterizar específicamente el proceso y sus pasos.

En nuestro caso, desarrollaremos los cálculos en base a un caso típico de la ciudad de Caracas, cuyas características físicas e hidráulica presentaremos como caso particular.

2. Pre-tratamiento:

El pre-tratamiento que aquí señalamos tiene que ver con todas las acciones aplicadas al efluente proveniente de las redes de aguas servidas que podrían mejorar sus aspectos físico-químico y bacteriológico, en otras palabras, si logramos que las aguas finales de la red de aguas servidas sean mejores física o bacteriológicamente que las originales descargadas, estamos produciendo un efecto conocido como pre-tratamiento.

El conocimiento sobre este punto es muy amplio y vamos a seccionarlo en varios tópicos o aspectos para su mejor comprensión, a saber:

<u>Pre-tratamiento físico</u>: consiste en separar los sólidos del líquido. Éstos pueden ser flotantes (excretas, plásticos, maderas, cartones, papeles, etc.) o pesados (arenas, gravas, arcillas, metales, etc.). Estos métodos de separación física normalmente se realizan a mano, con mallas, rejas, cribas o separadores. Pueden ser manuales o mecánicos.

En nuestro caso, lo que pareciera más conveniente es la instalación de un desbaste manual por los bajos caudales, lo que lo hace perfectamente manejable en forma manual.



Adicionalmente, se estima posible incorporar un pre-tratamiento de aire forzado en un punto de la red donde se pueda instalar una chimenea u orificio que produzca el efecto de succión, introduciendo aire dentro de las tuberías, para lo cual se debe diseñar el diámetro y la altura más conveniente.

Asimismo, la posibilidad de generar turbulencia con una rueda de paletas parcialmente sumergida parece una buena opción de tratamiento aeróbico al igual que la del chorro de líquido: en tuberías de gran pendiente que tengan entrada de aire por chimenea, se puede utilizar la energía para producir un chorro a presión que choque contra el líquido en el tanque de aireación o de llegada a la cámara de aplicación de los UV. De esta manera se podrían obtener hasta 3 Kg de oxígeno por Kwh, energía que provendría del sistema de redes (Winkler A, 2000).

Al aprovechar la diferencia de altura y la velocidad del fluido se hará girar algún elemento que luego trasmita por correaje o transmisión directa el movimiento a otro equipo o, impulsando un generador que a su vez alimente otros equipos.

El tratamiento físico podría aprovechar la energía haciendo girar un triturador o separadores; haciendo pasar agua a presión en la parte baja del tramo de tubería, y velocidad a través de una tobera; usándola para impactar el fluido para su desintegración y; oxigenando por toda esta turbulencia o por la introducción del aire por succión.

Consideramos que el pre-tratamiento químico podría ser aplicado para reducir el Nitrógeno y el fósforo. La eficiencia de la operación depende del pH que se pueda obtener con la oxigenación forzada ya que para pH altos se podría alcanzar hasta un 80% de reducción (Culp y Wesner,1978); este es uno de los puntos que debe ser evaluado en este método. Por otro lado la reducción eficiente del Fósforo, elemento proveniente de los detergentes, requiere de la adición de Cal o compuestos de Aluminio o Hierro, elementos que pueden significar costos



importantes. Este proceso podría eliminar los Ortofosfatos ya que los Polifosfatos son más difíciles de separar (Winkler A., 2000). Aquí el punto sería donde aplicar las sustancias para aprovechar la turbulencia de las aguas en la red y producir la mezcla, recomendando la prog 0+000 del tramo de tubería de gran pendiente. No consideraremos en adelante la parte del tratamiento con sustancias químicas.

Queda claro que el punto central del método aquí propuesto es desarrollar un proceso medianamente eficiente, aprovechando las características físicas del sitio. La introducción de aire en uno o varios puntos podrían mejorar sustancialmente la calidad y mejorar la tratabilidad del agua. Las ventajas serían:

- Control de olores.
- Mejorar la retención de sólidos en suspensión o las grasas.
- Favorecer la floculación de sólidos.
- Mantener el oxígeno en la decantación aun a bajos caudales.
- Incrementar la eliminación de DBO 5,20

Pre-tratamiento con Ultravioleta:

Se denomina ultra-violeta a la radiación electromagnética, cuyas longitudes de onda ocupan la banda que se encuentra después del color violeta de luz visible y antes del comienzo de la banda de rayos X.

Las longitudes de onda de la radiación Ultra-Violeta van desde los 400nm a los 100nm y se divide en tres bandas:

UV-A (onda larga) 315nm a 400nm (1 nm = 1 nano-metro)

UV-B (onda media) 280nm a 315nm

UV-C (onda corta) 100nm a 280nm

Los rayos UV-C son los que tienen mayores efectos sobre los microorganismos y por lo tanto son los utilizados en dispositivos de esterilización.



Generación y características de los UV-C

El método más eficiente de generar rayos UV-C es a partir de una lámpara de descarga de mercurio de baja o mediana presión. La radiación primaria generada por esta lámpara consiste prácticamente en una línea del espectro a 254nm, la cual está situada junto al máximo efecto de sensibilidad a los rayos UV-C por parte de los organismos (Wright & Cairns, 2000)

Estas lámparas tienen una cubierta de cristal especial con un índice de transmisión que permite el paso de las longitudes de onda mayores a 200nm.

La radiación de 254nm máxima es generada a una cierta presión de vapor de mercurio. Esta presión está determinada por la temperatura de operación y es óptima a una temperatura ambiente de 20° C. A otras temperaturas la eficiencia decrece como se observa en el siguiente gráfico

Acción de los rayos UV-C sobre los micro-organismos

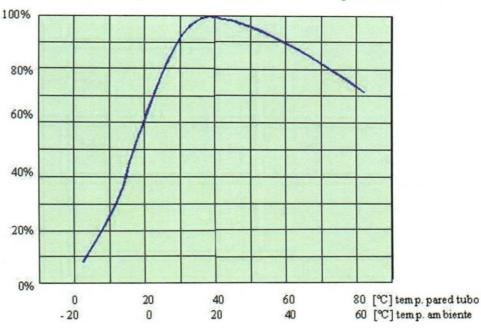


Figura N°1 Eficiencia en la emisión de UV-C 254nm en función de la temperatura. (Wright & Cairns, 2000)



La sensibilidad de los organismos sometidos a la exposición de los rayos UV-C es máxima para una longitud de onda de 255nm. Como se observa en la Fig. 2, la pendiente decrece abruptamente hacia otras longitudes de onda. Las lámparas UV-C utilizadas en los esterilizadores emiten en 254nm, valor prácticamente igual al de máxima acción sobre los micro-organismos.

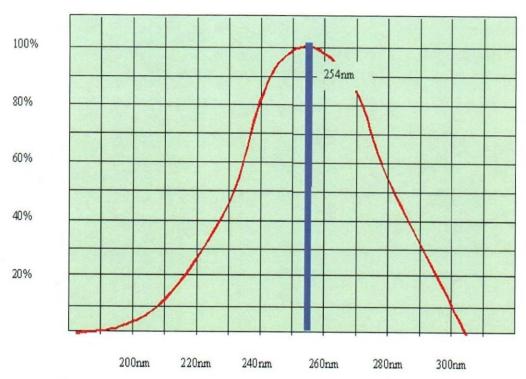


Figura N°2 Sensibilidad de los micro-organismos a los rayos UV. (Wright & Cairns, 2000)

La resistencia de los micro-organismos a los rayos UV-C varía considerablemente entre si. Además, depende de las condiciones ambientales en las que se encuentren.

Un mismo organismo requiere de distintas dosis para su destrucción según se encuentre en aire seco, húmedo o dentro del agua. Por ejemplo, en el agua, la bacteria *Escherichia coli* requiere de 3 a 50 veces más dosis de radiación que en aire seco, dependiendo esto del índice de transmisión del agua y de la profundidad de penetración.



En la siguiente tabla se indican las dosis mínimas de radiación en Joule/m2 para desactivar distintos porcentajes de la bacteria *Escherichia coli* en aire seco. Se observa la relación entre la dosis de rayos UV-C suministrada y el porcentaje de desinfección obtenido.

Tabla N°4 Dosis mínimas de radiación (Wright & Cairns, 2000)

Organismos Destruidos %	Dosis [J /m2]
10	1.3
18	2.6
33	3.4
50	9.1
63	13.1
80	20.9
86	26.1
90	30.0
95	39
98	51
99	60
99.5	69
99.8	81
99.9	90
99.9	120

El tiempo de radiación t1 [seg] se calcula a partir de la dosis que requiere el organismo [Joule/m2] y la irradiación incidente [Watt/m2] de rayos UV-C de longitud de onda de 254nm.

$$t1[seg] = \frac{D[J/m^2]}{I[W]}$$



Tabla N°5: Dosis mínima aproximada en [J/m2] de radiación a 254nm para la destrucción del 90% de varios micro-organismos. (Wright & Cairns, 2000)

ORGANISMO	NOMBRE	DOSIS
Bacterias	Bacillus anthracis	45
	B. megatherium (veg)	11
	B.megatherium (esporas)	27
	B. subtilis	70
	B. subtilis (esporas)	120
	Escherichia coli	30
	Mycobacterium tuberculosis	62
	Pseudomonas aeruginosa	55
	Pseudomonas fluorescens	35
	Salmonella enteritis	40
	Sarcina lutea	197
	Staphylococcus aureus	26
	Streptococcus hemolyticus	22
	Mycobacterium tuberculi	100
	Vibrio comma-Cholera	34
Algas	Diatomeas	3600-6000
	Alga verde	3600-6000
	Alga azul	3600-6000
Protozoo	Paramecium	640-1000
Gusanos	Nematode (huevos)	400

La dosis necesaria para obtener un porcentaje de desinfección distinto al 90% (indicado en Tabla 5) de un determinado organismo se calcula a partir de la siguiente:

$$D2 = D1 \times \frac{ln(N/(N-Nk2))}{ln(N/(N-Nk1))}$$

N = % organismos inicial (100%)

Nk1 = % organismos que se eliminan con la dosis indicada en Tabla 4 (90%)

Nk2 = % organismos a eliminar

D1 = dosis para eliminar el 90% (tabla 9)

D2 = dosis para eliminar el % deseado

Fuente: (Winkler M, 2000)

Los rayos UV-C son capaces de penetrar en los líquidos en mayor o menor medida según las características de los mismos. Por ejemplo, para



el agua que contenga distintas cantidades de compuestos de hierro la transparencia a la radiación de 254nm puede variar en un factor de 10 o más según sea su concentración.

En general las sales de hierro y la materia orgánica en suspensión disminuyen la capacidad de acción de los rayos UV-C mientras que las sales de calcio, magnesio y sodio no influyen negativamente.

Los micro-organismos están más protegidos cuando se encuentran en el agua que en aire seco, de esta forma el tiempo de exposición puede ser de 3 a 10 veces mayor. Además según las características del esterilizador y el caudal de agua se generan turbulencias que afectan la eficiencia en el ataque a los mismos por un factor de hasta 5. Así, la exposición necesaria para lograr idéntico grado de desinfección en el agua se debe multiplicar por un factor de 15 a 50 veces respecto al aire seco.

El valor de la intensidad de rayos UV-C que atraviesan el agua depende del coeficiente de transmisión de la misma, es decir su transparencia, y decrece en forma exponencial en función de la profundidad de penetración de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I = Io \times exp^{(a \times d)}$$

I=Intensidad en el agua a la profundidad d
 Io=Intensidad incidente
 a = Coeficiente de transmisión del agua à agua destilada a = 0,007 ~ 0,001 [1/cm]
 d = Profundidad de agua [cm]
 Agua potable a = 0,02 ~ 0,1 [1 / cm]

Fuente (Winkler M, 2000)



3. Hidráulica del efluente

Depende de la población servida que deriva en cantidades de agua (caudal); del tipo de curva horaria (gastos picos); de las características topográficas; de las disposiciones urbanas y sanitarias y de las leyes del ambiente.

El pre-tratamiento que nos ocupa aprovechará la energía potencial o cinética disponible en las redes para aplicar el tratamiento. Cada tubo que conforma la red conduce aguas servidas y sus condiciones hidráulicas pueden ser muy variadas. Si el terreno es plano y la población muy pequeña es probable que este método no sea conveniente debido a que no hay energía disponible para accionar los elementos necesarios. Si en cambio, es un terreno de grandes pendientes y población equivalente de más de 2000 habitantes, podríamos conseguir lo que buscamos: un punto de una tubería o Boca de visita con gran velocidad y caudal, es decir, energía disponible.

Por otro lado si varios sitios de la red tienen esta característica, el pre-tratamiento podría realizarse por etapas. Las leyes y semejanzas de la hidráulica posibilitan conocer cuál es el valor de la energía disponible en cada sitio, apoyándose en la información de planos y cálculos. Los textos de Juan José Bolinaga Proyectos de Ingeniería Hidráulica (1999); Manuel Vicente Méndez Tuberías a Presión (1998), Acevedo Netto Manual de Hidráulica (1986), y muchos otros dan ilustración sobre este tópico.

La energía la vamos a utilizar para el funcionamiento de equipos tales como paletas, separadores, equipo de Rayos Ultravioleta, etc.



4. Energía:

La energía disponible en el efluente se genera por su altitud o por velocidad. En los sitios donde se diseñe este sistema se debe calcular en función de los valores confiables de caudal y altura disponible. La energía se calculará por diferentes métodos o fórmulas expuestas en párrafos subsiguientes, específicamente en Diseño, (III, A.2), y según su valor se definirán cuales equipos podrían operar, su forma de almacenarla y todas las posibles utilidades.



III.METODOLOGÍA

Presentaremos en este aparte qué vamos a hacer (definición), cómo lo vamos a hacer (diseño), los resultados (cálculos) y los costos asociados (Hab/año) a esta propuesta. En este capítulo, se muestran los cálculos, además presenta en forma de tablas y gráficos premisas y reglas para la aplicación. El método desarrollado será un prototipo aplicable en aguas servidas de origen domiciliario que aprovecha la energía disponible en la red para motorizar equipos y aplicar tratamientos que mejoren la calidad de las aguas servidas. Esta técnica la podríamos desarrollar en las redes de aguas servidas que tengan condiciones apropiadas para las exigencias previstas, es decir, que cumplan con las exigencias mínimas de espacio, buenas pendientes y caudales, que justifiquen la instalación de la infraestructura y la colocación de los equipos posibles: desbaste, separadores, cepillos de Kessener, toberas, turbinas o Ultravioleta. El caso que nos ocupa, método exploratorio-deductivo, tendrá dos alcances:

- El estudio genérico a utilizar como base para optar o no por esta alternativa, al entregar en este trabajo herramientas que permiten definir, diseñar y proyectar el método, incluyendo una serie de tablas y gráficos que posibilitan la rápida revisión para su posible aplicación.
- Caso específico, ejemplo incluido donde se desarrolla el método aquí sugerido, en una red con características físicas e hidráulicas apropiadas.

Al escoger y calificar una red como aceptable para este proceso o método, pasaríamos luego a la caracterización del método y selección del tipo de tratamiento posible; de allí continuaríamos con la definición y diseño de las infraestructuras y los equipos y; las especificaciones de la instalación y el montaje.

La metodología propuesta para aplicar este método es exploratoria y deductiva y con una justificación práctica.



En base a todo lo planteado se hacen las siguientes consideraciones o premisas:

- Las aguas servidas a tratar serán de origen doméstico.
- La aplicación pretende aprovechar la energía disponible de la red para inyectar aire, mover equipos y aplicar tratamiento de rayos ultravioleta.
- Los parámetros de calidad del efluente en cuanto a DBO_{5,20},SS,
 pH, Nitrógeno, Fósforo y características bacteriológicas son los que principalmente serán considerados.
- El método aspira mejorar la calidad mediante la separación de sólidos, flotantes o disueltos; desarenado; aireación; trituración o impacto y; aplicación de ultravioleta.
- Las instalaciones y equipos deben ser compactas de manera que ocupen reducidos espacios en la propia red de agua servidas.
- Siempre se estima necesaria la remoción de lodos en los desarenadores mediante equipos succionadores tipo Vactor o similar y la revisión continua de la operación.

En la tabla N° 6 hacemos una presentación sinóptica de la metodología



Tabla N°6 Presentación sinóptica de la metodología

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS Y MATERIALES
 Evaluación y caracterización física, hidráulica y sanitaria de la red de aguas servidas. 	1.1 Revisión de la zona y características del sector. 1.2 Revisión de cuerpos de agua a afectar. 1.3 Chequeo de legislación nacional y local.		Revisión sistemática de cada documento y visitas al sitio (visitas de campo).
 Ubicación y cálculo de la energía disponible. 	2.1 Aplicación de leyes de la hidráulica, Bernoulli, Hazen-Williams, Manning,etc. 2.2 Aplicación de soft ware o paquetes matemáticos para obtener valores de la energía disponible 2.3 Definición de partes y equipos a instalar.	de calidad de agua.	2.1 Elaboración de un plano de planta y perfil del sistema de cloacas, preparación de tablas resumen con la información y, calificación del tipo o potencial de factibulidad. 2.2 Levantamiento topográfico. 2.3 Materiales para tomar muestras de calidad de agua.
 Caracterización y diseño de las partes y los equipos para el pre-tratamiento. 	3.1 Descripción de la planta física del sector. 3.2 Replanteo de posición de los futuros equipos. 3.3 Dimensionado o cálculo de cada unidad (leyes de la semejanza y nuevas tecnologías).	CAD. 3.2 Uso de Topomap. 3.3 Libros y manuales.	3.1 Elaboración de memoria descriptiva del futruro sistema en general. 3.2 Diseño de las infraestructuras mediante el uso de referencias y libros. 3.3 Análisis de los resultados de cada parte y en sistema.
4. Especificaciones de la instalación y el montaje.		técnicas de cálculo de la AWWA, manuales de fabricantes, etc. 4.2 Especificaciones particulares de montaje y funcionamiento.	4.1 Los equipos diseñados para las nuevas condiciones de operación con tiempos de contacto y apliación menor. 4.2 Especificaciones de los espacios con aplicación en serie 4.3 Manuales de funcionamiento y montaje de los equipos a utilizar básicamente separadores, desbastadores, cepillos de Kessener y equipos de ultravioleta.





A. Diseño

Las piezas, equipos o materiales a diseñar para el funcionamiento de este método tendrán mucho que ver con las características particulares y el resultado de la evaluación específica, es decir, debe desarrollarse un método exploratorio que defina los fundamentos teóricos de esta variante de aplicación y tratamiento y; deductivo porque los elementos que conformarán esta aplicación son similares a los utilizados en las plantas de tratamiento, pero obedecerán a diferentes espacios, tiempos de contacto, ratas de dosificación y combinación de equipos. Los pasos a seguir para el diseño serán:

1. Evaluación preliminar de la información:

Luego de obtener la suficiente información como planos de planta y de perfil del sistema de redes, cálculos de caudales y velocidades, perfil de bocas de visita con caída y áreas posibles a intervenir, se evaluará la factibilidad de uso de este método. Para ser considerado para este método debe cumplir con las características tomadas como limitantes: espacios o superficies mínimas para la implantación, cuyas medidas serán parte del resultado de los cálculos y donde se prevé necesidades de superficie para construir la tanquilla de desbaste, el desarenador, tramo de tubería con pendiente igual o superior a la pendiente crítica (velocidad crítica); cámara de tratamiento Ultravioleta.

El espacio podría adecuarse al conocer las exigencias que aquí se presentan y que exigen unas características físicas e hidráulicas para que el sistema tenga potencial para inyectar aire, generar energía y funcionar adecuadamente.



2. Cálculo de la energía disponible:

Se harán los cálculos necesarios para definir dónde y cuánta energía tenemos disponible. Con la información de caudales, velocidades, pendientes, caídas en bocas de visita, diámetros y clase de tuberías obtendremos las velocidades y pendientes. Para ello utilizaremos las fórmulas de pérdidas de energía en tuberías (Hazen-Williams, Manning, Colebrook, Darcy-Weisbach, etc) y las de forma o pérdidas locales para conocer las pérdidas por cambios de dirección o caídas en bocas de visita. Se debe calcular para los valores críticos o de diseño.

La energía disponible va a depender del caudal, altura disponible, tipo de líquido (agua), tipo de tubería y características del equipo de turbinado.

En la tabla N°7 se resume el cálculo de la potencia hidráulica generada.



Tabla N°7 Potencia hidráulica generada

			Potencia ger	nerada	
М³Н	L/S	Altura (∆ cota)	P Hidráulica Watios	P Hidráulica K Watios	P Hidráulica KWH
1	0,28	0	0	0	0
5	1,39	2	21,8	0,02	78,48
10	2,78	4	87,2	0,09	313,92
15	4,17	6	196,2	0,2	706,32
20	5,56	8	348,8	0,35	1255,68
25	6,94	10	545	0,55	1962
30	8,33	12	784,8	0,78	2825,28
35	9,72	14	1068,2	1,07	3845,52
40	11,11	16	1395,2	1,4	5022,72
45	12,5	18	1765,8	1,77	6356,88
50	13,89	20	2180	2,18	7848
55	15,28	22	2637,8	2,64	9496,08
60	16,67	24	3139,2	3,14	11301,12
65	18,06	26	3684,2	3,68	13263,12
70	19,44	28	4272,8	4,27	15382,08
75	20,83	30	4905	4,91	17658
80	22,22	32	5580,8	5,58	20090,88
85	23,61	34	6300,2	6,3	22680,72
90	25	36	7063,2	7,06	25427,52
95	26,39	38	7869,8	7,87	28331,28
100	27,78	40	8720	8,72	31392
105	29,17	42	9613,8	9,61	34609,68
110	30,56	44	10551,2	10,55	37984,32
115	31,94	46	11532,2	11,53	41515,92
120	33,33	48	12556,8	12,56	45204,48
125	34,72	50	13625	13,63	49050

Δ cota mínimo aceptable



A continuación presentamos un ejemplo tipo para un sistema con caudal medio de 16 l/s y Δcota de 16 metros:

		POTENCIA	HIDRÁULICA MI	RAVILA	
Descripción datos ejemplo	Vatios	Kw	KwH generados Qm	Kwh requeridos para rayos UV	KwH para 64% de eficiencia
	2511,36	2,51	9040,90	4561,92	5786,18

 $P_h = p \times Q \times g \times h$

P_h= potencia hidráulica en ν ρ=densidad del agua=1000 Kg/m3 Q=caudal M3/s g=gravedad=9,81 m/seg² h= salto neto m

RESULTADO EJEMPLO $P_h = 1000 \ Kg/m^3 \times 0,016 \ m^3/s \times 9,81 \ m/seg^2 \times 16m$ $P_h = 2511,36 \ watios = 2,51 \ Kw$

Esta energía va a ser la generada por el sistema al final del tramo analizado, y tendrá que ser mayor que la demandada por todo el equipamiento, y por supuesto tomando en cuenta la eficiencia del sistema generador, 64% en este caso. Los equipos a instalar dependerán de la cantidad generada y el orden de su uso normalmente debería ir desde la puesta en marcha del sistema de Rayos UV, triturador, separadores, etc.

Figura N°3 Esquema general del sistema de pre-tratamiento propuesto

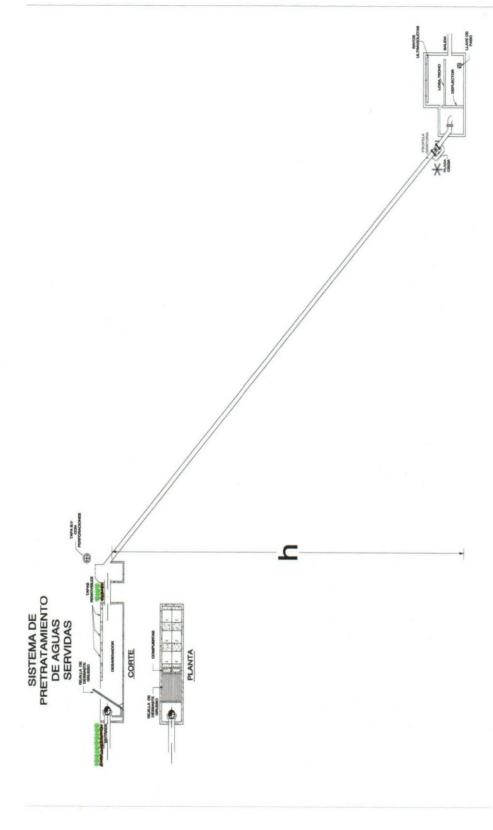
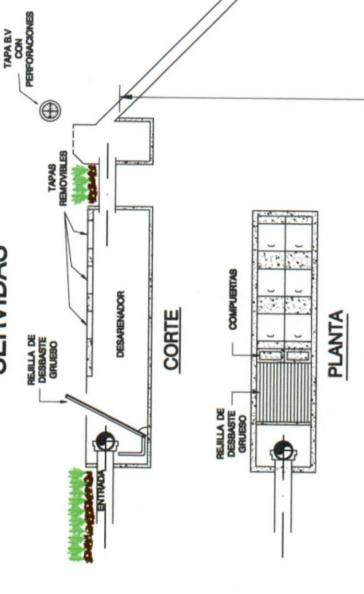




Figura N°4 Esquema de detalle del desarenador

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

DE AGUAS SERVIDAS



46

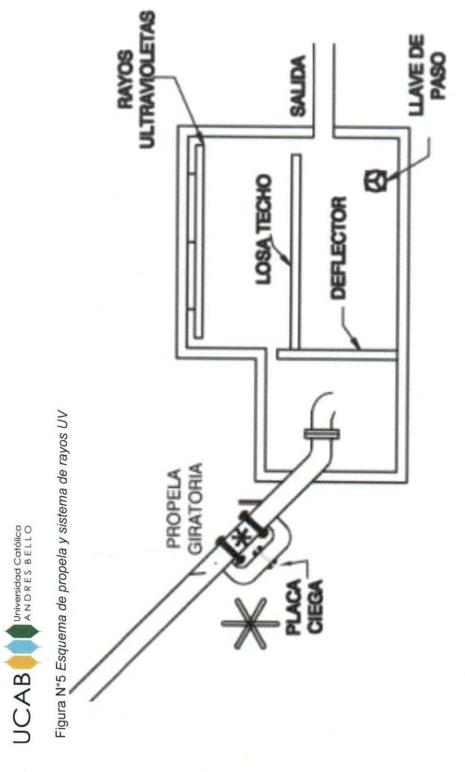
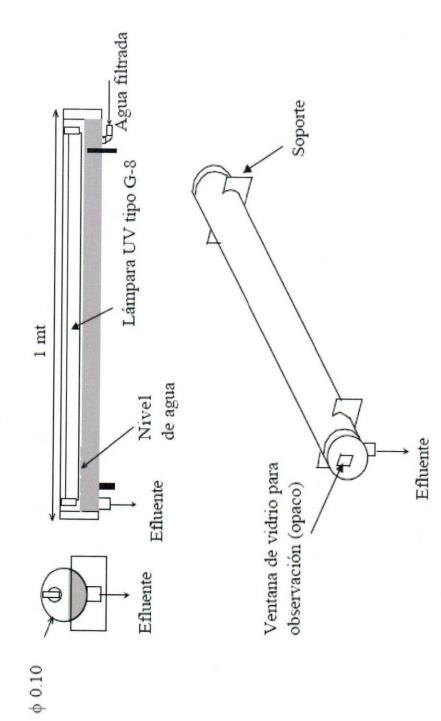




Figura N°6 Esquema del sistema de lámparas de radiación de rayos UV



Instalación típica de un equipo de radicación UV con lámpara fuera del agua



Factibilidad de uso de cada aplicación:

El método a desarrollar debe combinar equipos para el tratamiento en serie o en paralelo, y el proceso funcionará como un todo ya que son pasos de tratamiento sucesivos y complementarios. Las aplicaciones (desbaste, desarenado, separación de sólidos, aireación, turbulencia, rayos UV) requieren energía y espacio en una proporción que debe calcularse en cada caso.

La selección de que equipo o aplicación que se va a escoger para cada caso dependerá de todos los factores, físicos, hidráulicos o sanitarios que señalamos anteriormente. La energía disponible debería ser utilizada para: motorización del sistema de generación de energía, dado que el mismo sistema generador requiere consumir energía, la cual estimamos en el orden del 20-36% del total generado lo que implicó que todos los cálculos solo disponen del 64-80% de lo generado, considerado como eficiencia del sistema; sistema de Rayos UV; triturador y separador. Los otras partes van a consumir energía directo del sistema o a funcionar independientemente, como el desbaste mecánico (limpieza manual), desarenadores y sistema de inyección de aire.

Vamos a ilustrar presentando cálculos generales y el caso específico como ejemplo:

Inyección de aire:

La inyección o introducción de aire en el sistema será fundamentado en el método de la velocidad crítica o de arrastre. Este consiste en obtener la velocidad crítica para el diámetro, caudal y pendiente existentes: la velocidad del tramo la calculamos con la ecuación de Manning,

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

donde:



V=velocidad media en m/s
n=número de Manning (0,010-0,015)
S= pendiente
R=A/P (área/perímetro mojado) en m

ya que los cálculos de las tuberías a canal de los sistemas de aguas servidas en Venezuela así lo exigen, de manera que el dato está explícito en los cálculos.

A continuación observaremos en la tabla N°8 y en la fórmula el cálculo del aire introducido y la velocidad crítica: compararemos la velocidad crítica o de arrastre con la del tramo a utilizar: si esta última es mayor el tramo seleccionado podrá introducir aire en la tubería creando vacío, o diferencial de presión que se estimó en una atmósfera para los cálculos. Ver a continuación:

$$Vc = [K \times (\sqrt{(\Delta_c/L)} + \mathbf{0}.\mathbf{4} \times (\sqrt{g} \times \mathbf{D})]$$

Vc = velocidad crítica en m/s

K = constante de forma

 Δ_c = diferencia de cota en m

L = longitud en m

g = aceleración de la gravedad m²/seg

D = diámetro en m



Tabla N°8 Cálculo da la capacidad de introducción de aire. Teoría de la velocidad critica

	Velocidad crítica (velocidad de arrastre)							
Long m	∆cota m	Gravedad m²/seg	Diámetro m	Constante	Velocidad critica o de arrastre m/s			
70,3	17	9,81	0,2	0,25	0,328			
70,3	17	9,81	0,25	0,25	0,409			
70,3	17	9,81	0,3	0,25	0,491			
70,3	17	9,81	0,4	0,25	0,655			
70,3	17	9,81	0,5	0,25	0,819			
70,3	8,5	9,81	0,2	0,25	0,305			
70,3	8,5	9,81	0,25	0,25	0,381			
70,3	8,5	9,81	0,3	0,25	0,458			
70,3	8,5	9,81	0,4	0,25	0,610			
70,3	8,5	9,81	0,5	0,25	0,763			

g= gravedad (9,81 m²/seg)

D= diámetro de tubería

Sen $\Theta = \Delta$ cota/longitud

Contenido de aire en el agua≈ 2 % del volumen, Qaire= 0,02 Q agua

Dato para Temp 15-20°C y P atmosférica (Coeficiente de Buussen)

La depresión o presión negativa debe ser aproximadamente 1 m.c.a. o 0,1 bar

Nota: Cálculos en base a la teoría de la velocidad crítica y colocando tuberías de entrada de L=1m, en la prog inicial y en la mitad del tramo

Nota: la línea resaltada en amarillo es la correspondiente al caso específico usado como ejemplo



A continuación se presenta la figura N°6, relación diámetrovelocidad crítica

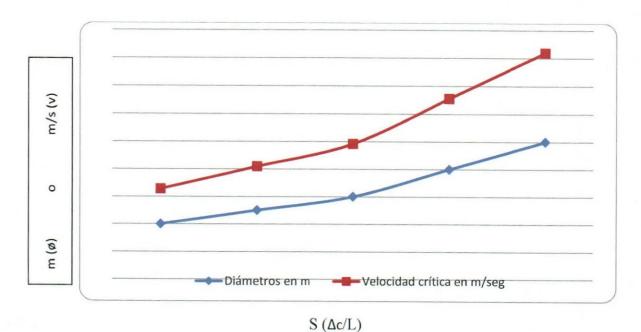


Figura N°7 Relación diámetro Vs velocidad crítica (Datos propios)

Conclusión: a mayor diámetro y mayor pendiente aumenta la velocidad de arrastre.



Tabla N°9 Cálculo de velocidad según Manning

N de Manning	Diámetro (m)	Perímetro mojado (m)	Perímetro mojado (m) Sección plena	Radio Hidráulico	Radio Hidráulico Sección plena	Pendiente (S) en m/m)	Velocidad en m/s	Velocidad en m/s sección plena
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,10	0,21	0,14
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,15	0,32	0,21
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,20	0,42	0,28
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,25	0,53	0,35
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,30	0,63	0,42
0,0140	0,25	0,64	0,79	0,39	0,32	0,35	0,63	0,42
0,0140	0,25	0,64	0,79	0,39	0,32	0,40	0,72	0,48
0,0140	0,25	0,64	0,79	0,39	0,32	0,45	0,81	0,54
0,0140	0,25	0,64	0,79	0,39	0,32	0,50	0,90	0,60
0,0140	0,25	0,64	0,79	0,39	0,32	0,55	0,99	0,66
0,0150	0,30	0,77	0,94	0,39	0,32	0,60	1,01	0,68
0,0150	0,30	0,77	0,94	0,39	0,32	0,65	1,09	0,73
0,0150	0,30	0,77	0,94	0,39	0,32	0,70	1,18	0,79
0,0150	0,30	0,77	0,94	0,39	0,32	0,75	1,26	0,84
0,0150	0,30	0,77	0,94	0,39	0,32	0,80	1,34	0,90
0,0160	0,40	1,03	1,26	0,39	0,32	0,85	1,34	0,90
0,0160	0,40	1,03	1,26	0,39	0,32	0,90	1,42	0,95
0,0160	0,40	1,03	1,26	0,39	0,32	0,95	1,50	1,00
0,0160	0,40	1,03	1,26	0,39	0,32	1,00	1,58	1,06
0,0160	0,40	1,03	1,26	0,39	0,32	1,05	1,65	1,11
0,0120	0,20	0,51	0,63	0,39	0,32	0,25	0,53	0,35

Nota: se resalta en amarillo porque es el caso específico o ejemplo.



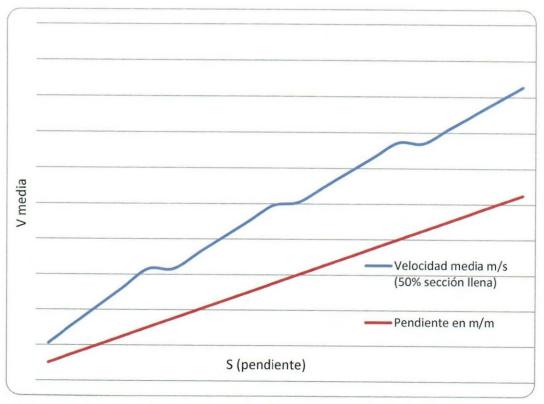


Gráfico N°2 Relación velocidad-pendiente (Datos propios)

En las tablas se calcula la velocidad real del tramo y se compara con la crítica. Se ven resaltados en amarillo los datos del ejemplo, donde podemos observar que la velocidad crítica es de 0,328 m/seg y la velocidad del tramo a 50% de la sección 0,53 m/seg, lo que demuestra la factibilidad de introducción de aire en el tramo al crearse vacío, el cual mantendremos en estos cálculos en el orden de 10 m.c.a., 1 atmósfera, construyendo el orificio de entrada de aire con un diámetro igual a 15 mm. El grafico 1 presenta la relación entre pendiente y velocidad media, lo que demuestra lo importante de las altas pendientes para este método.

A continuación los cálculos de caudal de aire a través del orificio:





$$Qa = [A_o * C_o \sqrt{2 * \frac{\Delta p}{w}} * 36 * 10^4]$$

Qa=caudal de aire (m³/h)

Ao= área del orificio (m²)

Co= coeficiente del orificio (0,7)

Δp=diferencial de presión a través del orificio (m.c.a.)

W= densidad del aire (1,2 Kg/m3 a 25°c y 1 atm)

Tabla N°10 Caudal a través del orificio.

Diámetro orificio (mm)	Área orificio (m²)	Co coeficiente de orificio≈ 0,7	Diferencial de presión m.c.a.	Densidad del aire (1,2 Kg/m³ a 25°c y 1 atm)	Q aire I/s	Q aire M³/hora	
48	0,0018	0,7	10	1,2	163,53	588,71	
10	0,0001	0,7	10	1,2	7,10	25,55	
15	0,0002	0,7	10	1,2	15,97	57,49	Ejemplo
20	0,0003	0,7	10	1,2	28,39	102,21	

Caudal req	uerido para 1	6 I/s
gramos/seg	litros/seg	M3/hora
0,032	0,0248	0,09

El orificio debe ser de Ø 15 mm para mantener equilibrio diferencial de 1 atmosfera.

Nota: cálculo con el método de flujo a través de orificios





NORMATIVAS Y CARACTERIZACIÓN (INYECCIÓN DE AIRE)

- a) Se requiere al menos 2 miligramos x litro o 0,2-1,5 pies³ x galón. Un litro de aire pesa 1,29 gramos. (Winkler A., 2000)
- b) La velocidad de entrada a la tubería a través de los orificios debe estar en el orden de los 2 m-seg. (Winkler A., 2000)
- c) El caudal de diseño del ejemplo es de 16 l/s de agua servida, calculado en función del caudal de agua potable final estimado para el ejemplo aquí desarrollado de 20 l/s.
- d) Los orificios se podrían realizar en la tapa de la Boca de visita aguas arriba del tramo en pendiente. Ver figura 6.
- e) El caudal de aire mínimo debe ser equivalente a 2 miligramos x 16 l/s x seg, o sea, un total de 32 mg/seg de aire o 0,025 l/s.
- f) La entrada de aire estará auto-regulada debido a que será producto de la succión o presión negativa generada dentro del tubo al fluir el líquido, estimada en 1 atmósfera.
- g) La pendiente del tramo calculado del ejemplo es de 0,245 m/m.
- h) La velocidad crítica del tramo del ejemplo es de 0,328 m-seg.
- i) La velocidad del agua en el tramo del ejemplo es superior a la crítica 0,53 m-seg.
- j) El caudal de aire a través del orificio de 15 mm, para un diferencial de 1 atmosfera ascendería hasta 16 l/s, muy superior a lo requerido de 0,025 l/s.

NORMATIVAS Y CARACTERIZACIÓN (TRATAMIENTO CON RAYOS ULTRAVIOLETA)

El tratamiento con Rayos UV es una de las ideas de la solución propuesta. Inicialmente se utilizó para potabilizar aguas claras, pero en los últimos veinte años se ha aplicado para el tratamiento de las aguas servidas exitosamente (Wright y Cairs, 2000)



La luz ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de potabilización de agua y residuales. UV provee desinfección efectiva sin producción de efectos secundarios (Wright y Cairs, 2000)

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual.

La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. En este caso, el desarenador reduce los TSS a 55mg/l lo cual sumado al uso de las lámparas de mediana intensidad estaría garantizando la efectividad de la desinfección con UV, lo que permitiría desactivar la mayor parte de virus, esporas y quistes (United States Enviromental Protection Agency (EPA 832-F-99-064))

El tratamiento con rayos UV en las plantas de tratamiento de aguas servidas ha crecido dramáticamente en los últimos años debido al impacto en las aguas receptoras que tienen las substancias organocloradas de los efluentes de aguas residuales. Un ejemplo de uso de UV lo tenemos en la PTAR operada por la NBCUA y localizada en Waldwick, New Jersey. En1989, la PTAR tuvo que hacer el cambio de una instalación de cloración a una con tecnología de desinfección alternativa con cero residuo después del tratamiento. Este cambio fue requerido cuando la norma de "cero residuos" fue impuesta por el Departamento de Protección Ambiental de New Jersey como resultado de la expedición del Acta de Prevención de Catástrofes Tóxicas.





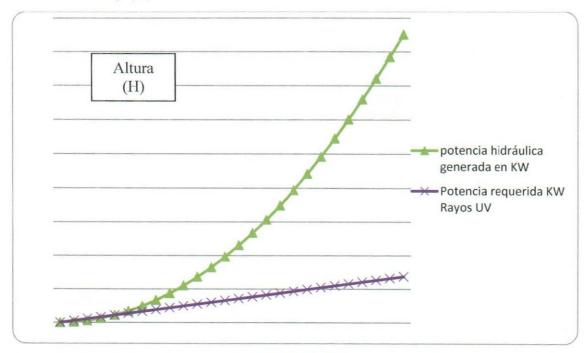
Aquí proponemos que se utilice para reducir la cantidad de organismos patógenos existentes en las aguas servidas.

Como resumen y para entender la operación y el posible impacto a continuación listamos una serie de normas y características del sistema, tomando en cuenta que lo podemos energizar con la energía disponible en el tramo. Ver a continuación.

- a) Se requiere un aproximado de 22 vatios/hora por cada m³ tratado, garantizado con la generación en el caso específico o *ejemplo* (tabla 7).
- b) La turbidez en el agua a tratar debe estar bajo las 5 UNT, para lo cual deben construirse los desarenadores aquí calculados (sección III, A.4.). (OPS-CEPIS, Pub 02.83, 2002)
- c) Los sólidos en suspensión (SST) deben estar por debajo de los 30 miligramos/litro, también a lograr con los desarenadores. (United States Enviromental Protetion Agency (EPA 832-F-99-064))
- d) La profundidad máxima de la lámina de agua a aplicarle el tratamiento UV debe ser 7,5 mm. (OPS-CEPIS, Pub 02.83, 2002)
- e) La dosificación está en el orden de los 10.000 microvatios por cm².(OPS-CEPIS, Pub 02.83, 2002)
- f) La norma internacional señala un orden de dosificación entre 16.000-38.000 microvatios xcm². (OPS-CEPIS, Pub 02.83, 2002)
- g) El tiempo de exposición debe estar entre los 10-20 seg. (OPS-CEPIS, Pub 02.83, 2002)
- h) El costo de instalación está en el orden de los 0,3 dólar/m³; y la operación en 0,02 dólar/m³.







P (K watios)

Gráfico N°3 Relación potencia generada y potencia requerida (Cálculos propios)

Lo antes presentado representa la serie de cálculos básicos para instalar un sistema como el propuesto. Los otros elementos involucrados: desarenador, desbaste, tuberías, turbinas, infraestructuras, se diseñarán utilizando el método deductivo ya que su diseño obedece a las mismas normas y exigencias de los sistemas convencionales y los caracterizaremos en el aparte 5 de este capítulo.

La energía remanente podría ser utilizada para motorizar un sistema de trituración, canjilones mecánicos o sistemas de iluminación.

4. Definición del sitio de implantación:

Con la definición del sitio de implantación tendremos las medidas del área disponible para los elementos y equipos: desbaste manual o mecánico, trituradora, cepillos de Kessener, chorros y sistema ultravioleta. Cada sitio se caracterizará por la cantidad de agua a tratar y la energía posible. El sitio de implantación debe ser obligatoriamente al final del tramo de alta pendiente, donde se genere la energía.



5. Diseño de los equipos:

Las dimensiones y características se calcularán en base a la metodología expuesta en diferentes tratados, libros y manuales. Cada equipo debe diseñarse infiriendo su funcionamiento en otro espacio y situación, siendo exactamente esto parte de la exploración ya que el funcionamiento debe adaptarse a otras condiciones de operación. A continuación señalamos con el subíndice 1 0 2 los datos y su correspondencia.

Caudales de diseño:

 $Q_{medio=16l/seg}$

 $Q_{medio=58m^3/hora}$

 $caudal_{punta=Q_{medio*Coeficiente\ punta\ de\ hunter}$ 1

$$C_{p=1+\frac{14}{4+\frac{71}{2}}=2,87}$$

$$C_{p=58\frac{m^3}{h*2,87}=167.22\ m^3/h}$$

$$C_{diario = \left(58\frac{m^3}{h}\right) *24h = 1400 \ m^3/dia}$$

Cargas contaminantes₁:

$$Carga\ contaminante = \left(\frac{gramos}{hab*dia}\right)*numero\ hab*caudal/dia$$

A continuación presentamos la tabla N 11 contentiva de datos referidos a cargas contaminantes



Tabla N° 11 cargas contribuyentes aguas servidas (ejemplo)

Cargas contribuyentes	gramos/día/hab (1)	Número de habitantes	Caudal M³/dia	miligramo/litro	Kg/dia
DQO	140	7000	1400	700.00	
DQO máximo				2,009.00	
DQO día					980.00
DBO _{5,20}	54	7000	1400	270.00	
DBO5,20 máximo				774.90	
DBO5,20 día					378.00
Nitrógeno (N)	10	7000	1400	50.00	
N max				143.50	
N día					70.00
Fosforo (F)	2.5	7000	1400	12.50	
P max				35.88	
P día					17.50
Sólidos en suspensión (SS)	50	7000	1400	250.00	
SS max				717.50	
SS día					350.00

Nota 1: Se toma como fuente para los anteriores parámetros los encontrados en el documento "Tratamiento de las aguas residuales mixtas para más de 100.000 habitantes equivalentes, Fernández Oreja, A., 2010".



Velocidad de aproximación a rejillas₁:

$$V = \left(\frac{Q*S^{\frac{3}{2}}}{3*L*n^{3}}\right)^{1/4}$$

$$V = \left(0.016*\frac{0.01^{\frac{3}{2}}}{3*0.5*0.015^{3}}\right)^{1/4} = 0.79 \text{ m/s}$$

Cumple con la norma de velocidad mínima de 0,40 m/s

Velocidad de paso entre rejillas₁:

$$V = (Q * S^{\frac{3}{2}})/(3 * L * n^{3})$$

$$V = \frac{0,016*0,008^{\frac{3}{2}}}{3*0.38*0.015^{3}} = 0,74\frac{m}{s}$$

(Cumple ≤0,9) Velocidad máxima por arrastre de basura

Cálculo de pérdidas de carga por desbaste de sólidos:

<u>Desarenador</u>: el diseño de los tanques sedimentadores se desarrollaron en base a las tablas de Babbitt y Baumann para el cálculo de áreas superficiales para desarenadores.

Tomamos el diámetro de las partículas a remover con tamaños menores o igual a 0,79 mm y rata de desbordamiento de 2.960.000 l/día/m²; las velocidades adoptadas del orden de los 0,30 m/seg y los periodos de retención del orden de los 300 seg. (Rivas Mijares , 1978)

Tabla N°12 Cálculo del desarenador

	Cálculo del desarenador						
Caudal Anch m3/seg (m) 0,016 1,00	(m)	Largo (m) 5,000	Velocidad (m/seg 0,01	Periodo de retención (seg) 312,500			
Velocidad menor a 0,30 m/se Periodo de retención mayor a 120 s		Ok Ok					

Nota: resultados basados en las tablas de Babbitt y Baumann

Referencia G. Rivas Mijares, pag 227, tabla 4.3





Usaremos el tiempo de retención más desfavorable; 5 min (Rivas Mijares , 1978) y dos cuerpos paralelos para facilidad de mantenimiento.

La cantidad media de arena a extraer se estima en 50 cm³/m³

V arena=0,016m³/s*50 cm³/m³*86400s/1 día*1/1000000m³/cm³=0,07 m³

V arena= 0,07m3

Relación Vt /V arena= 24/0,07= 347

El caudal utilizado como *ejemplo* está en el orden de los 16 l/s, lo que se traduce en una velocidad equivalente a la mitad de lo recomendado según Babbitt y Baumann para el mismo ancho de vertedero: asumiremos que los TSS se reducen 10% por encima de lo esperado por los anteriores autores para el doble de la tasa de desborde, aproximadamente en un 78% (Rivas Mijares, 1978), o sea, de 250 mg/l a 55 mg/l.

Consideramos conveniente hacer mediciones con trazadores para definir la verdadera curva de ascenso del fluido debido a que en Venezuela la concentración de los sólidos suspendidos está por debajo del promedio, favoreciéndonos en este proceso

Se recomienda limpiar cuando esté lleno el 10% de los desarenadores, cada mes aproximadamente.

Por efectos prácticos el desarenador se debería construir con dimensiones de un (1) metro de ancho, un (1) de profundidad y cinco (5) de longitud.

<u>Tuberías:</u> las tuberías serán de PVC, diámetro 8".

<u>Turbina</u>: la turbina será del tipo de paleta, colocada dentro del tubo como se puede observar en los detalles. Será instalada en un tramo en acero y colocada con juntas apernadas para su fácil remoción. Tendrá un by-pass para efectos de mantenimiento que permita el funcionamiento sin detener la operación.





La turbina irá conectada mediante correas de trasmisión a la máquina o generadora eléctrica. De allí saldrán los conductores eléctricos para alimentar el sistema de alumbrado y de Rayos UV.

Sistema de rayos Ultravioleta: se colocarán en la tanquilla diseñada para su instalación. Irán debajo del techo de la tanquilla construida para albergar las lámparas. Estas se colgarán del techo y a la distancia señalada en los cálculos. La lámina de agua será de sólo cinco (5) centímetros, definida por el caudal y el ancho del área de contacto de la tanquilla de instalación de los UV. Al final de la tanquilla el agua será descargada al cuerpo de agua. Si los elementos incluidos en el diseño son calculados e instalados correctamente cumpliríamos con las exigencias del artículo 10 del Decreto 883. Ver detalles de cálculos y tablas.

Medición de los resultados:

En el futuro, como apoyo en el avance del desarrollo de este método, podríamos tener la posibilidad de construir un sistema prototipo en alguna de las laderas pobladas de la Regio Capital, lo que posibilitaría optimizar la metodología de pre-tratamiento, motivo de este documento.





B. Hipótesis

El pre-tratamiento en la propia red de las aguas servidas de origen doméstico hasta niveles que reduzcan significativamente los valores contaminantes del afluente, posibilitando la mejora de la calidad del efluente con un sistema eficaz que cambie significativamente los esfuerzos, costos y espacios requeridos para cumplir con los valores exigidos por la Ley.

Variables independientes:

- Aguas de origen doméstico
- Técnicas de tratamiento

Variables dependientes:

- Cantidad de energía disponible
- Espacio adecuado
- Metodología combinada con tratamiento final





C. Análisis e interpretación de datos.

ASPECTO

INTERPRETACIÓN

Técnico	El método a desarrollar será una modificación de los sistemas de tratamiento actual por lo que las teorías de aplicación deben ser calculadas específicamente. Su investigación será fundamentada en las leyes universales de la hidráulica y la sanitaria y su implantación en una red de aguas servidas requerirá de la autorización del Urbanismo u operadora Hidrológica responsable del tratamiento de las aguas servidas de esa red		
Jurídico			
Las descargas finales mejorarían	. Las descargas finales no podrán cumplir con las normativas vigentes, Decreto 883, Ley Penal del Ambiente, Ley de		
sustancialmente aunque	aguas, Ley orgánica del Ambiente, etc Sin embargo, la mejora cambiaria determinantemente la calidad del efluente		
no se aspire a cumplir la	y su impacto al ambiente. Podría además ser parte de la solución de tratamiento final.		
norma			
Restrictivo	La investigación considero no debe tener restricción alguna ya que se trata de un método no susceptible de degradar o perjudicar el ambiente o la comunidad. Sus principios son similares a los de las plantas de tratamiento.		
Sistemático	El método de pre-tratamiento será sujeto de una investigación que permita definir su influencia en las aguas servidas. Cada sistema de aguas servidas tiene una caracterización y en base a ella, antes y después de la aplicación, tendremos valores comparativos que modifican la calidad del agua; esos escalones de calidad, serán las "celdas" o rangos a optimizar en la investigación.		
Lógico	El método responderá a los mismos principios sanitarios e hidráulicos que las plantas de tratamiento.		





D. Conclusiones

- Este método posibilita la utilización de la energía hidráulica disponible en un sistema de aguas servidas.
- Es aplicable a sistemas o redes de aguas servidas con características físicas de gran pendiente.
- Se introduce para el pre-tratamiento básicamente: desarenador, aire, desbaste por uso de propela o impeler giratorio, rayos UV
- Si bajamos la turbidez a menos de 5 UNT, los sólidos disueltos a 55 mg/l y cumplimos con la dosificación adecuada del tratamiento de UV, podríamos alcanzar un pre-tratamiento de gran impacto y mejora de la calidad,
 - La facilidad de ubicación por poco requerimiento de espacio es evidente.
- El funcionamiento sin uso de sustancias químicas hace segura la operación y su fácil ubicación.
- Los costos asociados a este tipo de pre-tratamiento, tanto en la construcción como la operación, lo hacen atractivo.
- Las características topográficas de un sinnúmero de centros poblados foráneos (áreas no conformes), ubicados alrededor de los grandes centros urbanos, hace de este método una posible solución para estos sectores.
- El hecho de que en Venezuela existan innumerables descargas directas a los cuerpos de agua permite pensar que esta solución coadyuvaría a sanear los cuerpos de agua impactados.
- En un país con graves problemas energéticos, aprovechar la energía disponible en los sistemas de aguas servidas que hoy en día se desperdicia, colaboraría a superar el déficit.





E. Recomendaciones

- -Trabajar con tramos de gran pendiente que trabajen a presión para generar la energía, la cual se aprovechará a través del sistema de trasmisión de la propela a la turbina, y de allí al sistema de Rayos UV.
- Instalar en áreas no conformes donde no se hace ningún tipo de tratamiento.
- Ubicar áreas apropiadas donde se puedan construir estas instalaciones,
 y donde es fundamental un tramo de tubería a presión que posibilite el aprovechamiento de la energía.
- Analizar el proyecto en función de la cantidad de energía segura, como se explica en la metodología de cálculo.
- La operación, aunque es muy sencilla, requiere de supervisión y control mediante exámenes físico-químicos y bacteriológicos según lo exigido por la Ley.
- Involucrar a las asociaciones vecinales en estas propuestas, sobre todo ante la necesidad del control y supervisión, concientizando la diferencia del impacto al ambiente y la salud pública que se lograría con este método de pre-tratamiento.
- Construir un prototipo de este método, posibilitando la verificación de los cálculos e incorporar nuevas aplicaciones al sistema, optimizando los procesos.
- Aplicar esta metodología en centros urbanos donde no hay ningún tipo de tratamiento lo que iría en pro del ambiente y podría en el futuro conformar una red de sistemas de pre-tratamiento de aguas servidas.





BIBLIOGRAFÍA

- America Water Works Asociation . (2002). Calidad y Tratamiento de Agua .
- Arocha, S. (1978). Abastecimiento de Agua.
- Bolinaga, J. (1999). Sistema de Abastecimiento de Aguas. Cuarta Edicion.
- Culp Russell, Wesner George y Culp Gordon. (1978). Manual de Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales. Mishawaka, EEUU.
- Fair, G., Geyer, J., & Okun, D. (1996). Water and Waswater Engineering. Na2New York: John Wiley and Sons.
- Feachem, R., Mara, D., & McGarry, M. (1977). Water, Wastes and Health in Hot Climates. New York: John Wiley and Sons.
- Feachem, R. o. (1983). Sanitation and Disease: Health Effects of Excreta and Wastewater Management. Chishester: John Wiley and Sons.
- Grover, B., Burnett, N., & McGarry, M. (1983). Water Supply and Sanitation Project Preparation Handbook. Washington, D.C.
- Kalbermatten , J., Julius, D., & Gunnerson , C. (1980). Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation: A summary of Technical and Economic Options. Washington, D.C.: Banco Mundial .
- Masten, D. (2000). Ingenieria y Ciencias Ambientales.
- MeJunkin, E. (1982). Proyecto Nacional de Demostración del Agua . Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos de Norteamérica.
- Metcalf, & Eddy. (1991). Wastewater Eng. Treatment, diposal and reuse.
- Rivas Mijares, G. (1978). Tratamiento de Aguas Residuales.
- Organización Mundial de la Salud . (1989). Health Guidelines for use of wastewater in Agriculture and Aquaculture . Ginebra, Suiza.
- Organización Panamericana de la salud/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria OPS/CEPIS (Pub 02.83). Desinfección de Agua. 2002.
- Palange, R., & Zavala, A. (1987). Water Pollution Control: Guidelines for Project Planning and Financing. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Programa de Naciones Unidas Para el desarrollo PNUD (2007). Informe sobre Desarrollo Humano.
- Saavedra Marcos. (2004). Funciones de Costos Marginales de Abatimiento (Chile)
- United States Enviromental Protetion Agency (EPA 832-F-99-064). Desinfección con luz ultravioleta. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Septiembre 1999.
- Winkler, M. (2000). Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. México, D.F.



TRABAJOS CITADOS

- Fernández Oreja, Ander. (2010). Tratamiento de las aguas residuales mixtas para más de 100.000 habitantes equivalentes. Reserchgate, UPCommons.upc.edu
- Wright, H.B. & Cains W.L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta.Trojan Technologies Inc., N5V4T7, (2000) WWW.contraplaga.com/images/archivos/conductos.pdf.





GLOSARIO

Aguas servidas: Aguas utilizadas o residuales provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento, con contenido de materiales disueltos y suspendidos.

Aguas servidas de origen doméstico: efluentes con presencia de sólidos en suspensión y disueltos, alta demanda de oxígeno disuelto, olor y color desagradable y presencia de organismos patógenos.

Canjilones: equipo mecánico que permite atrapar y almacenar sólidos.

Caudal: volumen del fluido en un espacio de tempo.

DBO: demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxigeno necesaria para la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua.

*DBO*_{5,20}: demanda bioquímica de oxígeno_{5,20} es la cantidad de oxigeno necesaria para la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua el quinto día y a 20°C.

Desbaste: procedimiento utilizado para retener los sólidos de cierto tamaño, dependiendo del tamaño del tamiz o "paso de la rejilla".

Desarenador: infraestructura metálica o de concreto por donde pasa el fluido a bajas velocidades y se genera la precipitación de los sólidos por efecto de bajas velocidades

DQO: demanda química de oxígeno, representa la cantidad de materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica *Tratamiento*:





acciones aplicadas al efluente que mejoran su aspecto físico-químico y bacteriológico.

Energía: potencial o cinética presente en el fluido.

Flujo a canal: en conductos abiertos donde la presión sobre el fluido es la atmosférica.

Flujo a presión: en tuberías cerradas donde la presión del líquido excede a la atmosférica.

Flujo turbulento: aquel cuya energía disponible excede la requerida para su propio movimiento.

Lodos: formados por los sólidos presentes en el fluido generados por distintos procesos.

Manto: presencia de lodos en forma de capa o capas contentivos de microorganismos.

Medidor de flujo: pieza para aforar la cantidad de agua que ingresa o pasa por un punto.

Pendiente: relación que mide la diferencia de alturas o cotas entre dos puntos y la distancia que los separa

Reactor: recipiente o espacio donde se generan procesos físicos, químicos o biológicos para mejorar la condición físico o bacteriológica del agua.







Red de aguas servida: conjunto de tuberías que conducen las aguas desde su origen hasta su punto de descarga.

Sólidos disueltos: elementos sólidos disueltos presentes en el fluido.

Sólidos en suspensión: elementos en suspensión o flotantes presentes en el líquido.

Serpentín: infraestructura que obliga a circular el fluido en forma sinuosa por espacios laberínticos para incrementar el tiempo de contacto con sustancias químicas.

Tratamiento Biológico: se produce con la utilización de los lodos originados por el mismo efluente, conocidos como lodos Activados y que se forman con colonias de bacterias y elementos presentes en el fluido.

Tratamiento Físico: es aquel que permite separar los sólidos del líquido.

Tratamiento Químico: generado con el aditamento de sustancias al agua que permiten mejorar o acelerar los procesos.

Tratamiento Anaeróbico: proceso donde se elimina el oxígeno disuelto en el agua.

Tratamiento Aeróbico: proceso donde se suministra oxígeno disuelto al agua.

Tratamiento Ultravioleta: rayos UV-C, radiación electromagnética cuyas longitudes de onda ocupan la banda que se encuentra después del color violeta de luz visible y son los que tienen mayores efectos sobre los microorganismos.



Velocidad del flujo: expresado en unidades de longitud dividido entre el tiempo.

