



I.
II.
III.
IV.
V. **FACULTAD DE CIENCIAS**

ESCUELA DE POSTGRADO

**TRABAJO EN OPCION AL TITULO
DE MAGISTER EN PROTECCION
AMBIENTAL**

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ALAUSI”**

MAESTRANTE: GUIDO GONZALO BRITO ZÚÑIGA

TUTOR: DR. AGUSTIN LEIVA PhD

Riobamba, Octubre 2003

RECONOCIMIENTOS

Al tutor, DR. AGUSTIN LEIVA PhD, cuya orientación abierta y segura, permitió la realización de la presente tarea.

A los miembros del tribunal de tesis:

Dr. Jaime Béjar M.Sc.

Dra. Magdy Echeverría M.Sc.

Dr. Iván Ramos M.Sc.

A los profesores del presente curso, que de forma directa o indirecta contribuyeron para la realización del presente trabajo.

Al Ing. Tito Calva por su valiosa asesoría.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a las Autoridades de la Facultad de Ciencias, que siempre se esfuerzan por ofertar varias opciones de educación en las distintas ramas de profesionalización, como es el caso del Programa de Maestría en Protección Ambiental.

AGRADECIMIENTO

De manera especial al Doctor Agustín Leiva. Tutor de Tesis; por sus magníficos aportes en la realización de este trabajo.

El Autor

DEDICATORIA

A Dios por su infinita bondad, por amarnos tal como somos.

A mis padres por darme la vida y a mis hermanos por estar junto a mí.

A mí amada y querida esposa Amparito, porque siempre me brindó su apoyo y confió en mí, además por ser el eje fundamental de mi vida y de nuestro hogar.

A los tres luceritos que iluminan mi existencia: Cristy, Emily y Guido Renato.

Guido

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el tratamiento físico químico basado en filtración y ozonización, de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, al Sur de la Provincia de Chimborazo. Previamente se midió el caudal de dicha corriente residual, que proyectado al año 2020 promedió 16 L/s y, se caracterizó la misma, en cuanto a la medición de nueve parámetros indicadores de la contaminación, que fueron los sólidos (totales, suspendidos y disueltos), Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días a 20 °C, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno orgánico y total y Coliformes fecales y total. Según los datos obtenidos, de acuerdo al muestreo diseñado, en los laboratorios de la Empresa Etapa de la ciudad de Cuenca, las aguas servidas de Alausí pueden ser catalogadas como de fortaleza media. Se realizaron dos series de experimentos discontinuos en cuanto a las aguas residuales y continuas para la corriente de aire ozonizado, el cual se produjo en un ozonizador a través de una elevada diferencia de potencial, con dos y tres minutos de tiempo de retención en un reactor de 16 litros de volumen efectivo. Las eficiencias de remoción de los diferentes parámetros fueron elevadas: Así, para dos minutos de retención, las remociones estuvieron entre 83 y 94 %, con excepción del nitrógeno total (20 %) y nitrógeno orgánico (70 %), debido a la formación de nitratos. Con tres minutos de tiempo de retención las eficiencias promediaron por sobre el 97 %, también con la excepción del nitrógeno total (71 %). Según el balance de DBO₅ mientras no se tratan las aguas servidas, la concentración de este parámetro de las aguas del río aumenta en 67 %, pero una vez tratadas con el sistema bajo estudio, este porcentaje será sólo 10 %. La Revisión Ambiental Inicial rindió solamente un 17 % del total de puntos a obtener y la Evaluación de Impacto Ambiental indica un mejoramiento estimado del 136 % de la calidad ambiental, lo que implica una relación estimada beneficio ambiental /costo de 0,0026 unidades de porcentaje por cada USD invertido.

SUMMARY

This work deals on the physical chemical treatment, based on filtration and ozonization of Alausi city sewage, at the Chimborazo province South. Previously, the sewage flux was measured and projected to 2020 year near 16 L/s and the sewage was characterized on base of nine contamination parameters, such as solids (totals, suspended and dissolved), Biochemical Oxygen Demand of 5 days and 20 °C, Chemical Oxygen Demand, Nitrogen (total and organic) and Coliforms (totals and fecals). According to the obtained data from the sampling design system and from the laboratories of the Etapa enterprise of Cuenca city, the Alausi sewage can be considered as middle strength. It was developed two series of experiments, batch about the sewage and continuous on the ozonized air current, with 2 and 3 minutes of detention times in a 16 liters effective volume reactor. The different parameters about removing efficiencies were appreciable highs; this is, for 3 minutes of detention time, such efficiencies were between 83 y 94 %, with the exception of total nitrogen (20 %) and organic nitrogen (70 %), because of the nitrate formation. For 2 minutes of detention time, the efficiencies averaged above 97 %, also with the exception of total nitrogen (71 %). As the BOD₅ balance, while sewage be not treated, the concentration of this parameter for the water river increase in a 67 %, but once treated, this value will be reduced down to 10 %. The Initial Environmental Revision yielded 17 % only from the totality of points possible to be obtained and the Environmental Impact Evaluation showed an environmental quality about 136 % better; this implies an estimated environmental benefit /cost relationship about 0,0026 percent units by each USD invested.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana, ya sea doméstica, industrial o de servicios, genera residuos y, estos pueden ser sólidos, líquidos y/o gaseosos. Los desechos líquidos han ocupado la atención de la mayoría de estudios debido a las cantidades y concentraciones de los diversos contaminantes que los constituyen.

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino, que puede ser apropiado o no para la protección del ambiente¹.

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas,

¹ MARA, D.D. (1976). Sewage treatment in hot climates, John Wiley & Sons, Londres.

superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual².

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- *Domésticas*: son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. A estas aguas también se les llama *albañales*.
- *Industriales*: son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- *Infiltración y caudal adicionales*: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, cajas de paso, estructuras de los pozos de registro, estaciones de bombeo, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por

² MENDONZA, S.R. 1987. Parámetros básicos para la elaboración de proyectos de sistema de abastecimiento de agua. CAGEPA, Joao Pessoa, Río de Janeiro.

medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas lluvias.

- *Pluviales*: son agua lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

Según Mara y Cairncross³ (1990), cada persona genera 1,8 litros de material fecal diariamente, correspondiendo a 113,5 gramos de sólidos secos, incluidos 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, más otros nutrientes, principalmente fósforo y potasio.

La temperatura de las aguas residuales es, en general, un poco superior a la temperatura de las aguas de abastecimiento, debido a la contribución de los residuos domésticos de aguas calientes. Sin embargo, puede presentar valores reales elevados, debido a la contribución de residuos líquidos industriales. Normalmente, la temperatura de las aguas residuales es superior a la del aire, excepto en los días más calientes del verano. En relación con los procesos de tratamiento, su influencia se presenta en las operaciones de naturaleza biológica, pues la velocidad de descomposición de las aguas residuales se incrementa con el aumento de la temperatura y, en las operaciones donde

³ MARA D.D. y CAIRNCROSS, A. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura. OMS, Ginebra.

ocurre el fenómeno de la sedimentación, el aumento de la temperatura hace que disminuya la viscosidad, mejorando las condiciones de este fenómeno.

Las aguas residuales domésticas son por lo general perennes, y su composición es esencialmente orgánica y su flujo relativamente constante cuando hay control domiciliario de agua por medio de medidores.

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas se pueden considerar sistemas físicos, químicos y/o biológicos, o una combinación de dos o tres de estos.

En el año 1842, según Petulla⁴, Edwin Chadwick, en su carácter de Secretario de la Comisión Legislativa de los Pobres (Poor Law Comisión) en el Reino Unido, planteó un esbozo de lo que se conoció como “la idea sanitaria”, con el propósito de promover mejores estándares de salud entre las masas. El informe de Chadwick se tituló “Una encuesta sobre las condiciones sanitarias de la población trabajadora en Gran Bretaña”.

Antes del trabajo de Chadwick, los desechos domésticos sólidos y líquidos se vertían en las calles, donde sufrían putrefacción y dispersión. En su informe, Chadwick solicitó que las calles y viviendas sucias se convirtieran en limpias mediante el suministro de agua y mejoras en la recolección de las aguas servidas y de la basura doméstica, involucrando más al ingeniero civil que al propio médico; es decir, que la Comisión Legislativa de los Pobres de Gran

⁴ PETULLA, (1987). Environmental Protection in the United States. Industry, Agencies, Environmentalists, San Francisco Study center. San Francisco.

Bretaña, formada fundamentalmente por médicos, realizó el importante planteamiento de que la solución a los problemas de salud ambientales estaría en manos de la tecnología y no de la medicina.

Las soluciones, con base en la ingeniería, planteadas por Chadwick y sus colaboradores de la Comisión mencionada incluían:

- El equipamiento de cada vivienda o sitio de alojamiento público con agua potable, suficientemente limpia.
- La eliminación de las aguas servidas de los hogares y sitios de alojamiento público mediante su recolección a través de un sistema de tuberías.
- La aplicación a terrenos agrícolas lejanos de las ciudades, de las aguas residuales recolectadas.

A partir de aquella época, cobró cada vez más fuerza la idea primaria de que el aspecto sanitario considerado en el agua potable y en los residuos domésticos sólido y líquido, conllevaría a mejoras sustanciales en la salud humana. Tal es así que en 1876 en Gran Bretaña se prohibió la descarga de las aguas residuales en aguas superficiales y ríos, con excepción de estuarios y mares; sin embargo, cuando podía probarse que en los recursos de aguas superficiales había suficiente poder de dilución disponible en el río, se permitía el vertimiento en el seno del mismo, a tal extremo, que ya para el año 1912, se

permitió el vertido de aguas residuales a los ríos, siempre que estas tuvieran una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y una concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) máximas de 20 mg/L y 30 mg/L, respectivamente.

Fue así que comenzó a llevarse a la práctica la idea de tratar las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, mediante sistemas tecnológicos, que propiciaran la reducción de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación, particularmente DBO y SST, a valores permisibles, que permitieran su vertimiento, sin deterioro irracional de las corrientes receptoras.

Ya en año 1914, en Gran Bretaña, Arden y Lockett⁵ descubrieron que al airear durante un tiempo el agua residual en tanques de decantación, se reducía el contenido de materia orgánica de la misma, disminuyendo su DBO. Estas fueron las bases del proceso conocido como sistemas de lodos o fangos activados, que emplea microorganismos aerobios en suspensión, para estabilizar (oxidar) biológicamente la materia orgánica contenida en el agua residual, afluente del proceso. Hoy día aún se usan ampliamente diferentes variantes de sistemas de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales.

Otro país que a principios del siglo XX comenzó a tomar conciencia de lo anteriormente discutido para el caso de Inglaterra, fue los Estados Unidos de América. Sin embargo, el agua bruta para usos potables era, en la mayoría de

⁵ ARDEN, E. y LOCKETT, W. T. (1914). Experiments on the oxidation sewage without the aid of filters. J. of Soc. Chem. Ind. Vol 33. London.

casos, extraída de ríos, lagos y embalses contruidos por el hombre y el tratamiento de estas aguas no iba más allá de la sedimentación de los sólidos visibles y sedimentables. El agua residual se continuaba descargando en ríos y lagos, de manera que cuando se hacían extracciones para consumo aguas abajo, el agua presentaba contaminación con materia orgánica, incluso de origen fecal.

Todo esto trajo como consecuencia las grandes y frecuentes epidemias de tifus y, sin embargo, puede citarse como ejemplo, que no fue hasta 1959, que una ciudad tan grande como Pittsburg, Pennsylvania, no contó con una planta de tratamiento de aguas residuales⁴.

Según Kiely⁶, la preocupación por la estabilización / evacuación de las aguas servidas (humanas) en el siglo XIX, provocó que se ignorara la posibilidad de contaminación por vertidos de aguas residuales industriales. En aquella época se pensaba que los ácidos en los vertidos industriales ayudarían a destruir los microorganismos de los vertidos de aguas servidas que causaban las enfermedades humanas y así serían beneficiosos para la calidad del agua del río o de cualquier otro cuerpo receptor y, las extracciones posteriores, aguas abajo, podría ser para usos potables. No se prestaba atención a los incidentes de mortandad de peces, coloración del agua de río por los vertidos industriales o de mataderos (camales).

⁴ IBIDEM, pág.4.

⁶ KIELY, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Ed. McGraw-Hill. Madrid.

El tratamiento del agua residual industrial es un acontecimiento moderno (posterior a la Segunda Guerra Mundial). En el Reino Unido, tradicionalmente muchas industrias vertían sus residuos líquidos al alcantarillado público, y posteriormente se les trataba en la planta depuradora. Esta práctica todavía está extendida en el Reino Unido, mientras que países como Irlanda (que se industrializaron más tarde) insistieron en que sus industrias (especialmente las químicas y farmacéuticas) trataran sus propios vertidos industriales separadamente de las aguas urbanas. En el corto período de unas pocas décadas en Irlanda, la industria ha instalado plantas depuradoras de aguas residuales, muchas de las cuales son superiores en tecnología a las municipales⁷.

En la República del Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias⁸ (IEOS) publicó un sistema de normas para la disposición de aguas residuales, con base a sistemas de tratamiento tradicionales, como son los sistemas de sedimentación primaria, lodos activados, lechos bacterianos aerobios, zanjas de oxidación y lagunas de estabilización.

En la ciudad de Cuenca, se han implementado sistemas para el tratamiento de las aguas servidas de la ciudad, con base en sistemas de lagunas de estabilización, que, en el país, constituyen el mejor referente al efecto.

⁷ SCANNELL, E. (1998). The Law and Practice Relating to Pollution Control in Ireland. Dublin.

⁸ IEOS. (1993). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a mil habitantes. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Sub-Secretaría de Saneamiento Ambiental. Quito.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Alausí, cabecera del cantón del mismo nombre está ubicada en la parte Sur de la Provincia de Chimborazo, a 95 km al Sur de Riobamba y sus coordenadas son 78°50'41" de longitud Occidental y 2°12'02". La ubicación del cantón Alausí se ilustra en la Fig. 1.1 y, como se aprecia, es uno de los cantones más grandes de la provincia. Al Norte limita con el Nudo de Tiocajas, al Sur con el Nudo del Azuay, al Este con Morona Santiago y Sevilla de Oro y al Oeste con las Llanuras de la Costa.

La altitud promedio de Alausí es de 2 428 m.s.n.m. y tiene una superficie (cantonal) de 1 695,94 km². Posee una variedad de climas con temperaturas que van desde el páramo 3 °C a 7 °C en las zonas de Juval – Huangras – Totoras, con precipitaciones de 1 000 mm a 2 000 mm, hasta el subtrópico 18 °C a 21 °C y precipitaciones de 500 mm a 2 000 mm, en las parroquias de Multitud y Huigra, determinando una diversidad de cultivos y productos⁹. La humedad relativa es del 87 %.

⁹ AME. 2001. Programa de Gestión Local. Alausí



Figura 1.1. Mapa de la Provincia de Chimborazo donde se encuentra el cantón Alausí, en la parte Sureste de la misma.

La ciudad de Alausí cuenta en su área urbana con una población de 10 071 habitantes al año 2 000 y, se proyecta en 18 680 habitantes para el 2 020. La densidad de población de la ciudad es de 179,85 habitantes por cada kilómetro cuadrado⁹.

El servicio básico de agua potable sirve al 96 % aproximadamente de la población de la ciudad y, el 4 % restante corresponde a aquellas viviendas

⁹ IBIDEM, pág.9.

ubicadas en la parte alta de la ciudad, junto a la vía panamericana, que por estar implantadas sobre la cota máxima de agua, no tienen el servicio y; otras áreas que, por falta de planificación, aún no cuentan con el servicio de agua potable (Barrio Puente negro y parte de Mullinquiz). La población que dispone del servicio recibe un promedio de 8 a 10 horas diarias, debido a múltiples fugas que se presentan en la conducción. Actualmente se cuenta con los estudios para el mejoramiento de la calidad, cantidad y la distribución del líquido vital.

En cuanto al servicio de alcantarillado, el cual es combinado, sirve a una población del 98 % aproximadamente y, el 2 % restante corresponde a aquellas viviendas de la Loma de Llugly en la calle Guerrero Ponce, lado Este; por cuanto, el nivel del tendido de la red está sobre el nivel de dichas construcciones, imposibilitando que las mencionadas viviendas puedan conectarse a la red pública de alcantarillado⁹.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El por qué de este estudio se encuentra sustentado por el hecho de que la ciudad de Alausí, cabecera del cantón del mismo nombre, a través de un sistema de alcantarillado unitario, descarga sus albañales, o aguas servidas, sin tratamiento previo alguno, en el seno del río Chanchán, afluente del río Guayas, en su curso hacia el océano Pacífico y hacia el Oriente.

⁹ IBIDEM, pág.9.

La ciudad de Alausí, perteneciente al cantón del mismo nombre, del cual es su cabecera, ha tenido un crecimiento poblacional en los últimos 10 años, que ha hecho que el número de habitantes casi se duplique (de 5 573 hab. en 1 990 a 10 071 hab. (6 522 en la ciudad y 3 549 en la periferia) en el año 2 000), según datos del INEC.

Este incremento de la población ha provocado a su vez, el aumento de las actividades de producción, de servicios y domésticas, con la consiguiente elevación de los caudales de aguas servidas y, por lo tanto de las cargas de los diferentes parámetros indicadores de la contaminación de las mismas, que impactan al ecosistema de los ríos Chanchán y Chimbo.

Las subcuencas altas de los ríos Chimbo y Chanchán, en donde se encuentra enclavado el cantón Alausí, presentan síntomas de procesos erosivos, además de la contaminación de las aguas debido, principalmente al vertido de los albañales sin tratamiento previo⁹ (AME, 2 001).

Resulta entonces, prácticamente impostergable, que se tomen medidas técnicas y administrativas tendientes a la depuración de los albañales de la localidad de Alausí, como medida de protección ambiental al río Chanchán uno de los principales recursos naturales de Alausí y sus entornos.

Precisamente, los resultados del presente trabajo de investigación apuntarán a la consecución de esta necesidad, mediante el diseño de un sistema de filtración con arena seguido de ozonización, para el tratamiento de las aguas

⁹ IBIDEM, pág. 9.

servidas de la ciudad de Alausí, quedando así determinado el positivo impacto y relevancia social que implicaría el desarrollo y posterior aplicación de los resultados de este trabajo de Tesis.

1.3. PROPOSICIÓN DE TRABAJO

Teniendo en cuenta que:

- La ciudad de Alausí, cabecera del cantón del mismo nombre dispone de un sistema de alcantarillado que recoge las aguas servidas de casi todas las viviendas de la ciudad (98 %).
- La ciudad carece de un sistema de tratamiento de las aguas servidas que genera la población de la misma.
- Las aguas residuales domésticas de la ciudad son vertidas, sin tratamiento previo, a las aguas del río Chanchán, afluente del río Guayas, afectando la calidad de ambos recursos hídricos y sus entornos.
- La tecnología y su costo referido al tratamiento de aguas servidas con ozono para lograr la oxidación de la materia orgánica, incluida la de origen biológico, se ha hecho factible en la actualidad.
- Existe suficiente literatura especializada sobre la producción y acción oxidante y germicida del ozono.

- Se cuenta con el apoyo de las autoridades del I. Municipio para llevar a cabo el presente trabajo estudio.

Se propone en la presente investigación, luego de la cuantificación y caracterización de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Alausí, la evaluación del impacto ambiental que provoca la actual forma de disposición de las mismas, el diseño de un sistema de tratamiento físico y químico, que garantice la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas de la ciudad, para que éstas puedan ser vertidas en el río Chanchán, o ser utilizadas en funciones de regadío.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Elaborar un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Alausí que garantice una adecuada gestión ambiental.

1.4.2. Específicos

1. Evaluar el impacto ambiental que provoca la actual disposición de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, con base en la matriz de Leopold modificada.

2. Caracterizar las aguas servidas de la ciudad de Alausí, que llegan al río Chanchán.
3. Diseñar el proceso de filtración con arena de las aguas servidas que llegan al río.
4. Diseñar el proceso de ozonización de las aguas servidas que llegan al río.
5. Proponer el sistema de tratamiento más adecuado para las aguas residuales de la ciudad de Alausí.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El ozono fue descubierto por el científico holandés Von Marum en el año 1783 trabajando con máquinas electrostáticas. Lo mismo ocurrió con los estudios de Ciukshank en el año 1801 haciendo la electrólisis del agua. Finalmente en el año 1840 el científico Schonbein logró detectar y clasificar al ozono dándole el nombre ya conocido por todos hoy en día (ozono). Palabra que procede del griego y que su significado es olor.

Según Rice¹⁰, al ozono se le conoce desde hace más de cien años.

En 1785 Von Marum describe un olor característico en una máquina electrostática.

En 1801 Cruikshank percibe el mismo olor en un ánodo.

En 1840 Schoenbein le da el nombre de ozono por la palabra griega "ozein" que significa "heder, oler".

¹⁰ RICE, R.G., (1986). Analytical Aspects of Ozone Treatment of Water and Wastewater, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-064-9.

En 1857 Werner von Siemens diseña un generador de ozono, de tipo dieléctrico cilíndrico.

En 1893 en la ciudad de Oudshoorn, se construye la primera planta de Holanda.

En 1906 en Niza, Francia, se pone en funcionamiento la planta Bon Voyage de tratamiento de agua por ozonización.

En los Estados Unidos, antes de 1980 había menos de 10 plantas, en 1995 había cerca de 100 plantas y más de 50 se encuentran en la etapa de diseño o construcción¹¹. En Europa hay miles de plantas. Entonces, ¿por qué no hay más plantas que usen ozono? La sencilla razón es que la industria del agua siempre ha estado preocupada por los costos y ha tratado de proporcionar agua al costo más bajo posible. En la Tabla No. 2.1 muestra los costos relativos y representativos de los productos químicos usados en las plantas de tratamiento de agua e indica claramente que el cloro es el desinfectante menos costoso¹².

¹¹ DEMERS, L.D., et al., (1996). Ozone System Energy Optimization Handbook, AWWA Research Foundation, ISBN 0-9648877-1-1.

¹² AKNESS, K.L. et al., (1996). Ozone System Fundamentals for Drinking Water, Opflow, Amer. Water Works Assoc., Vol. 2, No 7.

Pero cuando se le considera junto con otros productos químicos, no es exorbitante.

Tabla No. 2.1. Costo unitario de los productos químicos.

Producto químico	Precio unitario l\$/kg_n	Dosis lmg/l_n	Costo/1 000m³ de agua l\$/_n
Ozono	0,50	3	6
Cloro	0,10	4	2
KMnO ₄	0,60	4	10
CAP (carbono)	0,20	5	4
Alumbre	0,06	25	8
Coadyuvante de la coagulación	0,80	1	3
Polifosfato	0,60	1	2

Fuente: AKNESS, K.L. et al., (1996).

El ozono es uno de los esterilizantes más eficaces que existen, para aguas tratadas o naturales de mediana y buena calidad. Como agente bactericida, virulicida y alguicida es muy eficaz. Manteniendo una concentración determinada es suficiente para garantizar la destrucción de organismos patógenos y algas.

Sin duda uno de los usos más difundidos en la utilización de ozono es la depuración y tratamiento de agua de todo tipo, debido principalmente a las siguientes ventajas:

- Destruye rápidamente bacterias, virus y algas en cortos tiempos de contacto.
- No produce consecuencias, no imparte sabores ni olores extraños al agua.
- Su acción germicida y alguicida es invariable, para una amplia gama de temperaturas y de pH.
- Mejora las características organolépticas del agua.
- Transforma formas insolubles para su fácil eliminación, las sales de hierro y manganeso en forma de hidróxidos, por decantación o filtración.
- Mejora la coagulación-floculación del agua, requiriéndose una menor dosificación de floculante.

2.2. EL OZONO, CARACTERÍSTICAS Y FORMAS DE ACCIÓN

En el año 1863 el científico Soret comprobó y demostró que el ozono se compone solamente de oxígeno: $3 \text{ O}_2 = 2 \text{ O}_3$, $\Delta H = 64\,800 \text{ cal}$

Eminentes sabios estudiaron el ozono hasta que M.P. Otto logró determinar su densidad, constitución molecular y estudió detenidamente su formación¹³.

Después de estos estudios ideó el sistema idóneo para producir ozono artificialmente: por medio de descargas eléctricas (como lo produce la propia naturaleza) dando lugar de esta manera al sistema OTTO. Sistema que se aplica actualmente en los generadores de ozono.

El ozono es una variedad alotrópica del oxígeno, su molécula triatómica (O_3) se genera por la activación de la molécula biatómica (O_2) del oxígeno. Esta activación puede ser provocada por la acción de una descarga eléctrica o por la energía irradiada de los rayos ultravioleta.

El ozono (O_3) es un componente natural del aire limpio y seco, como el nitrógeno, oxígeno, argón, etc... en una proporción de 0,000002% en volumen, existiendo en la atmósfera 1,90 Gton.

Algunos de los gases que componen el aire tienen una misión específica que cumplir. En el caso del ozono, es la de eliminar los agentes contaminantes que no forman parte del aire limpio y seco.

Las principales características del ozono se presentan en la Tabla No. 2.2.

¹³ Smith, S. L. (1998). Otto's Experiments on Ozone. Scientific Research Bulletin No. 8. Washington. D.C.

Tabla No. 2.2. Principales características del ozono.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Peso molecular	48
Temperatura de condensación	-112 °C
Temperatura de fusión	-192,5 °C
Temperatura crítica	-12,1 °C
Presión crítica	54 atm
Densidad (líquido a 182°C)	1,572 g/cm ³
Masa del litro de gas a 0 °C y 1 atm	2,144 g [*]

* 1,3 veces más pesado que el aire.

Fuente: AKNESS, K.L. et al., (1996).

A temperaturas normales el ozono se encuentra en estado gaseoso en disolución inestable en el aire, descomponiéndose relativamente rápido y convirtiéndose nuevamente en oxígeno (O₂).

Está mundialmente reconocido que las aplicaciones adecuadas de ozono tienen una acción bactericida, virulicida, fungicida y desodorizante; destruyendo con gran rapidez estreptococos, estafilococos, colibacilos, etc..., así como las más enérgicas toxinas difterianas y tetánicas.

La utilización de ozono en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales ofrece una primera evidente ventaja: los

productos de oxidación no contienen derivados ajenos al agua tratada. Es claro que los productos de reacción serán oxígeno molecular y orgánico oxidado.

El ozono despliega diferentes acciones relacionadas con el tratamiento de aguas y aguas residuales, las de mayor interés son las siguientes¹⁴:

1) *Acción Microbicida*

Es quizás la propiedad más importante del ozono y por la que más aplicaciones se le atribuyen. El concepto microbio, como es sabido, es muy amplio. En principio, microbio es toda forma de vida que no puede ser vista por el ojo humano, y que se requiere el uso del microscopio para ser observado.

Estos seres vivos permanecen muchas veces sobre todo tipo de superficies, en todo tipo de fluidos, o bien flotan en el aire asociados a pequeñas motas de polvo, minúsculas gotas de agua en suspensión de todo tipo de enfermedades contagiosas, especialmente en sitios cerrados donde haya gran número de personas, y el aire se renueva muy lentamente.

El control de algunos de estos microorganismos, llamados patógenos por su capacidad de provocar enfermedades contagiosas, ha sido una gran preocupación del hombre desde el momento en que fueron descubiertos. Cientos de métodos y de sustancias químicas han sido elaborados y utilizados

¹⁴ MASSCHELEIN, W. J., (1982). Ozonation Manual for Water and Wastewater Treatment, John Wiley & sons, ISBN 0-471-10198-2.

con este fin, proporcionando resultados en mayor o menor medida positivos e intentando disminuir la cantidad de estos patógenos, en términos como desinfección, higienización, asepsia, antisepsia.

El ozono, debido a sus propiedades oxidantes, puede ser considerado como uno de los agentes microbicidas más rápido y eficaz que se conoce. Su acción posee un amplio espectro que engloba la eliminación de:

a) Bacterias (efecto bactericida)

b) Virus (efecto virulicida)

c) Hongos (efecto fungicida)

d) Esporas (efecto esporicida)

a) Efecto bactericida

Es bien conocido desde principios de siglo, donde se empezó a usar para el tratamiento de agua. Actualmente nos servimos de él, tanto para el tratamiento de todo tipo de aguas como para tratar ambientes e incluso directamente sobre el organismo humano con fines terapéuticos.

Una de las ventajas más importantes del ozono, con respecto a otros bactericidas es que este efecto (bactericida) se pone de manifiesto a bajas

concentraciones (0,01 ppm o menos) y durante periodos de exposición muy cortos. Incluso a concentraciones ínfimas de ozono (del orden de 0.01 ppm) es ya perfectamente observable un efecto bacteriostático¹⁵.

La diferencia entre un efecto bactericida y un efecto bacteriostático es sencilla: un agente bactericida es aquél capaz de matar a las bacterias. Sin embargo, un agente bacteriostático no llega a matarlas, pero si les impide reproducirse, frenando rápidamente el crecimiento de sus poblaciones.

Aunque teóricamente sean efectos muy distintos, en la práctica, una población de bacterias sin capacidad de reproducción o con capacidad disminuida para la misma, es una población condenada a su desaparición. De hecho, agentes antimicrobianos tan importantes como algunos antibióticos basan su poder en una acción bacteriostática.

Debido a su alto potencial Redox, el impacto sobre los microorganismos es tan poderoso que no importa si está o no en uso otro desinfectante químico en esos días. La acción del ozono sobre la "pared" celular obliga a la célula a llenarse de su contenido. El ozono tiene un poder bacteriano más elevado que el cloro. El ozono actúa de manera rápida sobre las bacterias, esto es debido a la destrucción de las proteínas bacterianas por el proceso de oxidación catalítica, mientras que el cloro remueve los centros vitales de la bacteria lo que lo hace más lento¹⁵.

¹⁵ WHITE, G. C. (1985). Handbook of Chlorination. Ed. Van Nostrans-Reinhold. 2nd. ed. New York.

¹⁵ IBIDEM, pág. 24.

En el caso de una fuerte contaminación bacteriana, el ozono no le conferirá gusto alguno al agua¹⁶.

b) Efecto virulicida

Los virus son pequeñas partículas, hoy consideradas frontera entre los seres vivos y la materia inerte, que no son capaces de vivir ni de reproducirse sin parasitar células, a las que ocasionan su destrucción.

A diferencia de las bacterias, los virus siempre son nocivos y provocan enfermedades a todo organismo al que atacan. Enfermedades tan comunes como la gripe, el catarro, el sarampión, la viruela, varicela, rubéola, poliomielitis, SIDA y otras muchas son debidas a virus.

El ozono actúa sobre ellas oxidando las proteínas de su envoltura y modificando su estructura tridimensional. Al ocurrir esto, el virus no puede anclarse a ninguna célula hospedadora por no reconocer su punto de anclaje, y al encontrarse el virus desprotegido y sin poder reproducirse, muere.

La acción virulicida es observable a concentraciones de ozono inferiores a la de acción bactericida. Esto es debido a que la complejidad de la envoltura vírica es inferior a la de la pared bacteriana.

¹⁶ GENTILE, A.. 2000. Ozonización, Filtración, Germicidas. Ozono Argentina. Buenos Aires.

c) Efecto fungicida

Existen ciertos tipos de hongos que tienen capacidad de provocar enfermedades al ser humano. Otros muchos son capaces de ocasionar alteraciones en nuestros alimentos, haciéndolos inaceptables para su consumo, como es el caso, entre otros, de los mohos. Debido a esto, resulta interesante controlar y eliminar estas formas patógenas, cuyas esporas pululan por todo tipo de ambientes.

El ozono ofrece la posibilidad de eliminarlas mediante su acción oxidante que provoca un daño celular irreversible.

d) Efecto esporicida

Existen algunos hongos y bacterias que cuando las condiciones son adversas para su desarrollo, fabrican una gruesa envoltura alrededor de ellas, y paralizan su actividad metabólica, permaneciendo en estado de latencia. Cuando las condiciones para la supervivencia vuelven a ser favorables, vuelven a su forma normal y su metabolismo recupera su actividad.

Estas formas de resistencia se conocen como esporas y son típicas de bacterias tan patógenas como las que provocan el tétanos, la gangrena gaseosa, el botulismo y el ántrax.

Este tipo de mecanismo de resistencia hace muy difícil el luchar contra ellas y, tratamientos tan útiles en otros casos como las altas temperaturas y multitud de antimicrobianos, se vuelven ineficaces.

El ozono a concentraciones ligeramente superiores a las usadas para el resto de las bacterias, es capaz de acabar con la resistencia de las esporas¹⁷.

2) *Acción desodorizante*

Es una de las propiedades mejor comprobadas, debido a su gran utilidad en todo tipo de locales de uso público y en el tratamiento de ciertos olores de origen industrial.

El ozono posee la propiedad de destruir los malos olores atacando directamente sobre la causa que los provoca, y sin añadir ningún otro olor. Para lograr esto último resulta extremadamente necesario no exceder la concentración del ozono requerida para un determinado local, ya que si ésta se encuentra muy elevada, quedaría un residual fuerte de ozono presente en el aire y se percibiría un cierto olor.

¿Cuál es la causa de los malos olores? En sitios cerrados, de gran afluencia de público, la causa suele ser la materia orgánica en suspensión, y la acción de

¹⁷ GEORGE, D.B. et al., (1990). Case Studies of Modified Disinfection Practices for Trihalomethane Control, AWWA Research Foundation, ISBN 0-89867-515-4.

los distintos microorganismos sobre ella, tal es el caso del típico olor a personas, humedad, tabaco, comidas, etc...

El ozono ataca a ambas causas. Por un lado oxida la materia orgánica, además de atacarla por ozonólisis y por otro lado ataca a los microbios que se alimentan de ella. Existe una amplia gama de olores los cuales pueden ser atacados por el ozono. Todo depende de la naturaleza de la sustancia causante del olor. Según dicha naturaleza se podrá establecer su vulnerabilidad hacia la acción del ozono, y la dosis de éste requerida para su eliminación.

El resultado de una correcta ozonización es que en los sitios donde existan malos olores, no huele a nada.

3) Acción oxigenante

En las grandes ciudades, donde existen gran cantidad de locales cerrados y poco ventilados, es con mucha frecuencia apreciable el enrarecimiento del aire como consecuencia de una carencia de oxígeno, la cual habitualmente identificamos como aire viciado.

El ozono, por su mayor poder oxigenante, contribuye a mejorar la eficiencia de las células de los organismos superiores en cuanto al aprovechamiento del oxígeno disponible, mediante la estimulación de varias enzimas que intervienen en estos procesos.

El ozono fue empleado por primera vez para la desinfección de aguas de abastecimiento en Francia, a principios de siglo. Su uso aumentó y posteriormente se expandió a diversos países europeos occidentales. Hoy en día, existen cerca de 3 000 instalaciones de desinfección con ozono (la mayor parte de ellas en Europa), para el tratamiento de las aguas de abastecimiento. Un uso común del ozono en estas instalaciones se centra en el control de los agentes responsables de la producción de sabores, olores y colores. A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas de abastecimiento, los recientes avances en materia de generación de ozono y de la tecnología de disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales.

En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo al proceso de adsorción con carbón activado¹⁸.

El ozono se ha incorporado, en diversos países desarrollados del mundo, como oxidante fuerte no sólo para garantizar la inmunidad de las redes de agua potable respecto de eventuales patógenos, sino porque remueve orgánicos, oxidándolos, sin generar compuestos exógenos a la fuente de agua. Un efecto de interés es que la ozonización, en fuentes de agua con microorganismos y materia orgánica mejora el funcionamiento de las operaciones de floculación,

¹⁸ KRAUSE, T. L., ANDERSON, C. T., MARTENSON, D. R. y SEYFERT, J. D. (1980). Desinfection: Is Chlorination Still The Best Answer. Presented at the 53rd Annual Conference of the WPCF, Las Vegas.

decantación y filtración tanto porque produce la lisis de los microorganismos como por el efecto de cargas sobre sólidos y materia orgánica.

La depuración de agua envasada a través del tratamiento con ozono, es muy recomendable, ya que en el supuesto de que el agua mineral esté totalmente esterilizada, existe una serie de agentes externos en el proceso de envasado que la pueden contaminar. Incluso las más higiénicas y modernas técnicas de embotellado de agua mineral o de beber (los llamados procedimientos asépticos, membranas de filtración, etc.) no pueden impedir que algunos gérmenes viables queden en el agua o sean arrastrados por el aire o el proceso de cierre de las botellas.

La utilización de ozono en aguas de recreación ha tenido un crecimiento bastante notable en los últimos años, principalmente en países desarrollados. En especial se le ha usado para mantener el control de algas y de organismos patógenos en aguas de lagunas, estanques y piscinas. Generalmente las aguas de tipo natural son ricas en compuestos orgánicos, que en presencia de otros oxidantes como el cloro o bromo, pueden formar compuestos cancerígenos y de difícil biodegradabilidad. El ozono no presenta este problema; al contrario, provoca una mejoría en la calidad del agua, al aumentar su concentración de oxígeno disuelto en la misma.

2.3. PRODUCCIÓN DE OZONO

Desde principios de siglo, la técnica de producir ozono para uso industrial se ha basado en la reproducción del fenómeno que podemos encontrar en la naturaleza. Esto es, activando las moléculas de oxígeno mediante descargas eléctricas.

Básicamente, la técnica consiste en hacer circular oxígeno a través de un campo de descargas originado mediante la aplicación de una diferencia de potencial entre dos electrodos, permitiendo la generación de múltiples colisiones con las moléculas de oxígeno; de este modo, los átomos libres tienden a unirse a otra molécula de O_2 , formando así ozono (O_3).

El principio de funcionamiento de un ozonizador puede ser resumido de la forma siguiente: Un generador de ozono comprende 2 electrodos conductores mantenidos en paralelo, el uno del otro, para dejar entre ellos un espacio regular en donde se introduce una hoja dieléctrica (arco eléctrico) (Fig. 2.1). El ozono se produce por circulación lenta del aire o del oxígeno en el espacio que queda, creando un espacio reservado al gas una tensión eléctrica alternativa sinusoidal de amplitud suficiente elevada.

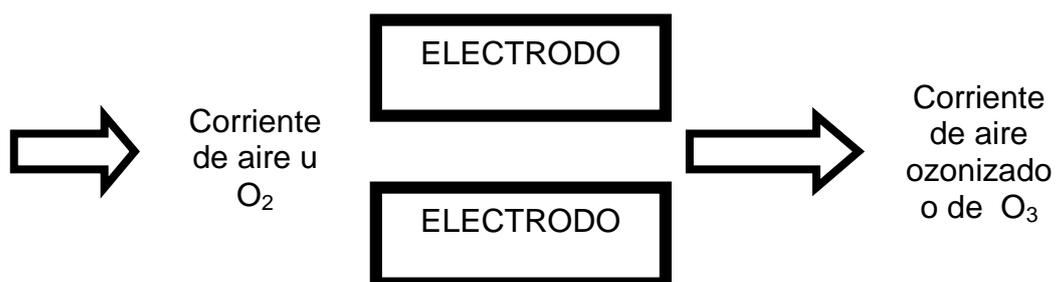


Figura. 2.1. Esquema del aspecto básico de un ozonizador.

El aparato trabaja como un condensador. La intensidad de corriente en el circuito es baja, pero la energía así consumida es prácticamente nula. Para las tensiones del umbral, el aire gaseoso se ioniza y se transforma por consecuencia en un buen conductor eléctrico. Así, las moléculas de ozono se producen en la medida en que se dan las descargas eléctricas.

Con la tensión aplicada, la energía crece rápidamente. La liberación de calor representa una gran parte del consumo total. El enfriamiento del aparato favorece la aparición de altas concentraciones de ozono, porque al elevarse la temperatura el ozono se autodescompone más rápidamente.

Para un adecuado funcionamiento, se requiere oxígeno contenido en el gas de alimentación, que puede ser aire o el propio oxígeno, y una tensión suficientemente alta como para producir la ionización. Por ser el ozono altamente inestable y ello muy dependiente de la temperatura, es necesario liberar el calor generado por las propias descargas para evitar la descomposición del ozono ya producido.

Originalmente los generadores eran alimentados por un transformador elevador de tensión, operando a la frecuencia natural de la red, esto es 50 Hz ó 60 Hz. Posteriormente, aprovechando los avances de la época en cuanto a la electrónica de potencia, se desarrollaron sistemas más sofisticados, que involucraron operar con descargas en frecuencias del orden de 400 a 800 Hz. Además de duplicar la capacidad de producción de un mismo reactor, esto permitió trabajar con voltajes no tan elevados, y por lo tanto, fabricar equipos

de tamaño más reducido¹⁵.

Por otra parte, mientras en principio se disponía del oxígeno contenido en el aire para alimentar un generador, era necesario prepararlo a niveles de pureza y secado que obligaban a contar con voluminosos equipos necesarios.

El gas de insumo puede ser aire u oxígeno puro. Se aplica un voltaje alto (6 000-20 000 V) a dos electrodos y este voltaje produce un arco. En el arco, parte del O_2 se transforma en O_3 . El ozono es muy inestable y se revierte en O_2 en minutos. Por ello, al no poder ser trasladado a la planta de tratamiento de agua, el ozono debe generarse en el lugar. Entre el 1 y el 10 por ciento del oxígeno que fluye por los electrodos se transforma en ozono. Cuando se utiliza aire como gas de insumo, la concentración de ozono varía entre 1 y 4 por ciento. Cuando se usa oxígeno puro, la concentración se encuentra entre 4 y 12 por ciento por peso. Cerca de 80 a 95 por ciento de la energía se convierte en calor y se debe retirar con el electrodo conectado a tierra, generalmente mediante enfriamiento del agua.

Las variables operativas son la energía aplicada, la eficiencia y el diseño del generador, el flujo del gas de insumo y la temperatura¹³.

En la Fig. 2.2 se muestra un diagrama de este proceso¹⁸.

¹⁵ IBIDEM, pág. 25.

¹³ IBIDEM, pág. 22.

¹⁸ IBIDEM. pág. 29.

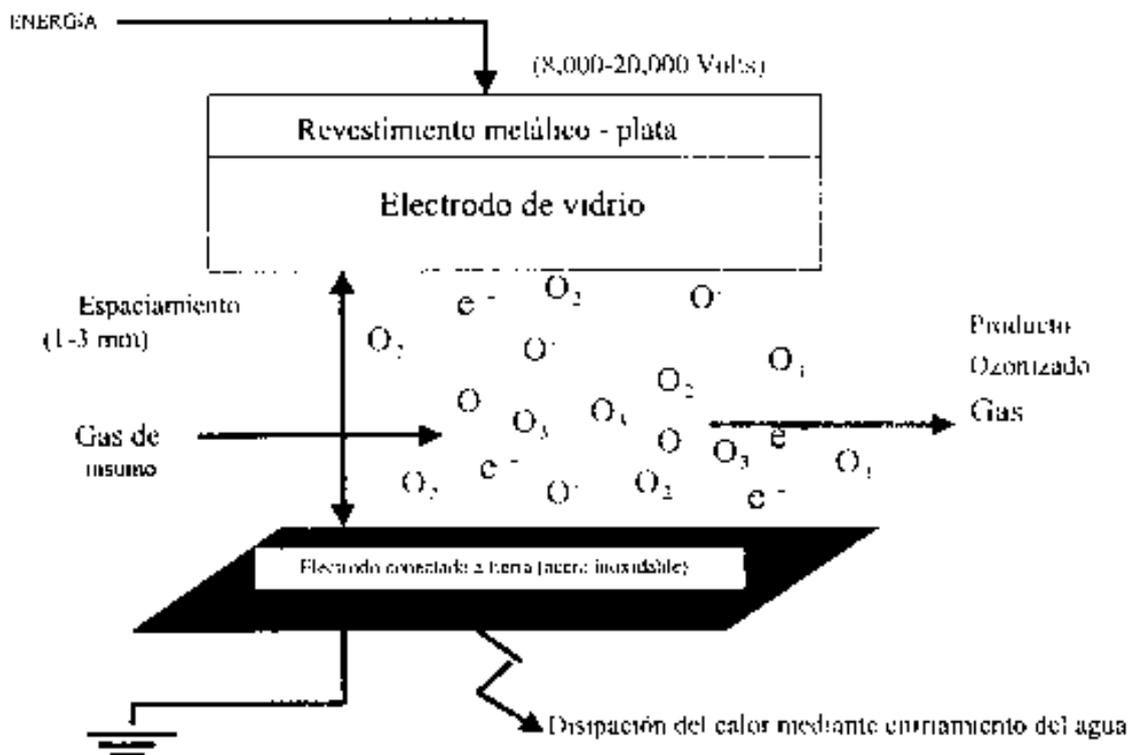


Figura 2.2. Generador dieléctrico de ozono.

Los sistemas que proveen aire deben extraer el polvo y la humedad del aire. Esto se puede hacer mediante el uso de filtros, secadoras y compresores. El sistema de oxígeno puro usa oxígeno líquido (OXL) y es mucho más sencillo. Sólo se necesita un vaporizador.

Los *contactores de ozono* son necesarios para que el ozono haga su trabajo de desinfección y oxidación, debe ser traído al agua y dispersado de la manera más sutil posible. Generalmente, esto se realiza a través de difusores de burbujas menudas ubicados en cámaras de deflectores o en un contactor tipo turbina. Los difusores de cámara de deflectores parecen ser los más comunes y el número de cámaras, su geometría, el sistema del difusor y su operación

varían de planta en planta y están sujetos a la experiencia de los ingenieros de diseño. La Fig. 2.3 muestra el diseño característico para un contactor con cámara de deflectores¹⁸.

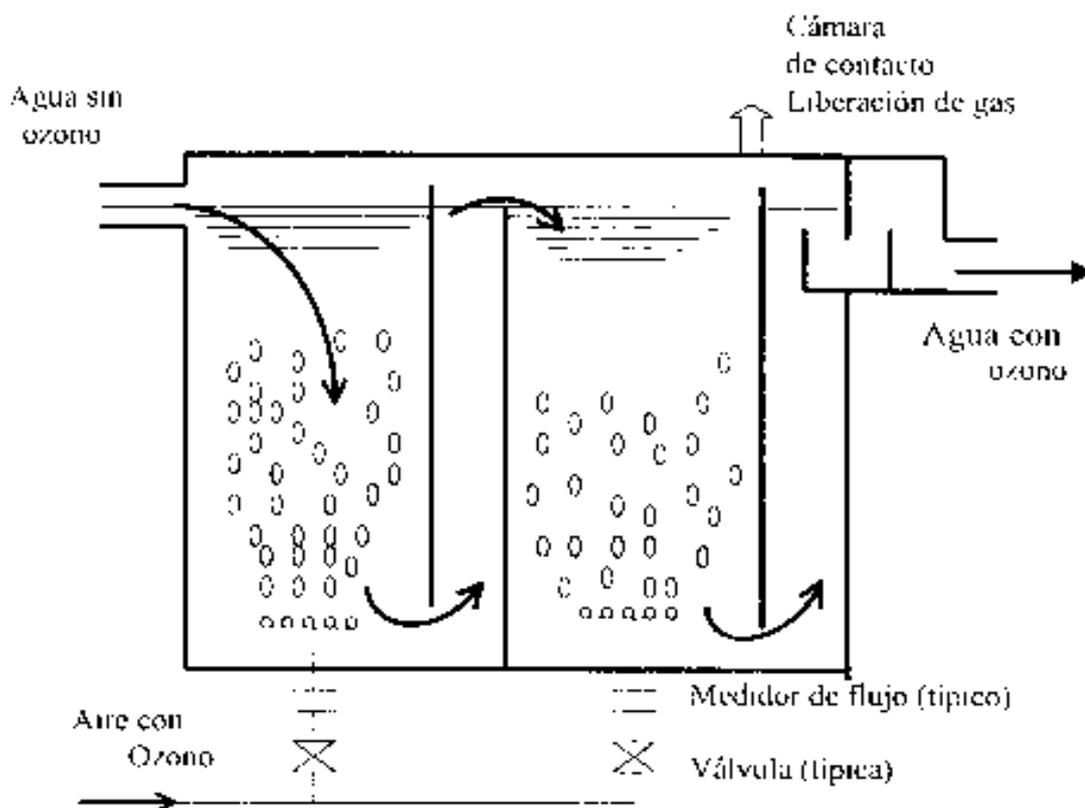


Figura 2.3. Sistema contactor de ozono.

Un contactor de ozono característico generalmente tiene varios compartimientos en serie con difusores de burbuja en el fondo. En el primer compartimiento, el agua fluye hacia abajo en sentido contrario de las burbujas que ascienden y en el segundo compartimento el agua fluye hacia arriba. Las cámaras se cubren para prevenir el escape de ozono y aumentar la presión parcial del ozono en el contactor. Las cámaras adicionales garantizan el tiempo

¹⁸ IBIDEM, Pág.29

de contacto entre el ozono y el agua. Cada una de las cámaras tiene puntos de muestreo para que se pueda determinar la concentración de ozono en cada cámara. Esto es necesario para calcular la concentración del producto y tiempo de retención a fin de conseguir el valor requerido de CT. La última cámara todavía debe tener una concentración de ozono de 0,1 ppm.

La Fig. 2.4 muestra un contactor con difusor de turbina que mezcla el ozono con el agua¹⁸. Luego, las cámaras de contacto establecen el tiempo de contacto.

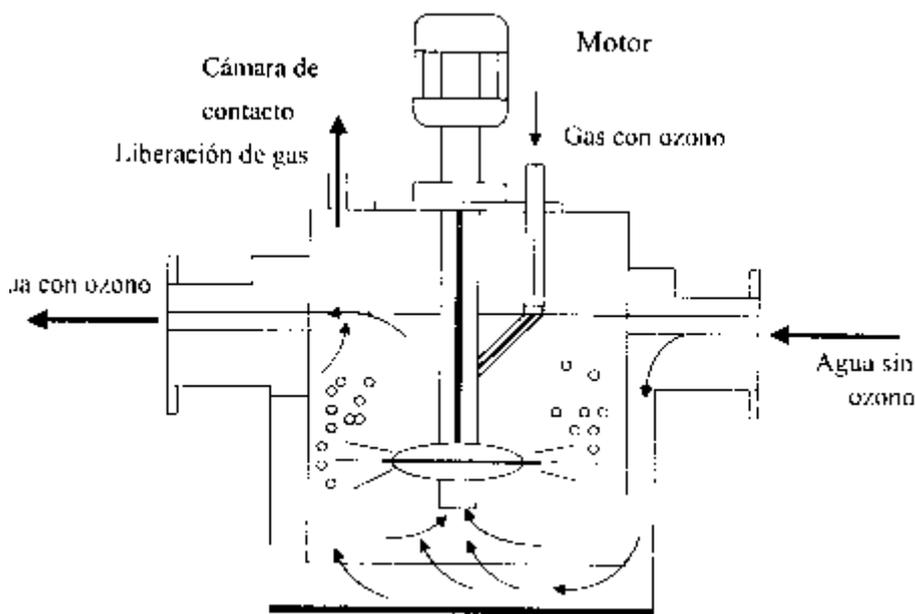


Figura 2.4. Contactor tipo difusor de turbina.

El gas liberado de los contactores de ozono generalmente excede el límite establecido por la Occupational Safety and Health Administration (Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional, OSHA) de 0,1 ppm por

¹⁸ IBIDEM, Pág.29

volumen y consiguientemente el ozono restante se tiene que reciclar o destruir. El gas liberado pasa primero por un desempañador que captura gotitas de agua en una malla de acero inoxidable. Luego, el gas se calienta y pasa por una unidad de destrucción que contiene un catalizador para acelerar el proceso. El requisito de energía oscila entre 1 a 3 kW para un flujo de 3 m³/min del flujo de gas¹¹.

Para tratar las *consideraciones de seguridad*, primero hay que tener en cuenta que el ozono existe naturalmente en el ambiente. Probablemente las concentraciones a corto plazo más grandes ocurren cuando los rayos de las tormentas producen ozono. En el ambiente de oficina, el ozono se detecta cerca de las fotocopiadoras. Los soldadores están expuestos al ozono producido por el arco durante el proceso de soldadura. Y los residentes que viven en grandes urbes como Denver, Los Angeles, ciudad de México, Bogotá, Caracas, Sao Paulo, etc., están expuestos a concentraciones de ozono entre 0,5 a 1,0 ppm cuando el escape de los automóviles e industrias reacciona con la luz solar.

Como el ozono es un oxidante fuerte, produce reacciones en el tejido humano, en particular en los pulmones, lo que perjudica la respiración. Los ojos y la nariz también se ven afectados. La OSHA ha establecido los límites para los ambientes de trabajo que se presentan en la tabla No. 2.3.

¹¹ IBIDEM, pág. 17.

Tabla No. 2.3. Exposición al ozono.

EXPOSICIÓN	LÍMITES lppm
Olor detectable	0,01-0,05
tos / irritación	1
8 min	4
1 min	0,1
límite OSHA 8 h	0,3
límite OSHA 15 min	10 000
conc. mortal en < 1 min	

En una planta de tratamiento de agua, los monitores de ozono vigilan continuamente las concentraciones de ozono en el agua de las celdas del contactor, en el aire del escape de gas, y en el aire ambiental en y alrededor de la producción de ozono. Las alarmas generales se activan a una concentración de 0,1 ppm y los generadores de ozono se cierran instantáneamente a una concentración de 0,3 ppm. Esto es un gran avance frente a la prueba del "olfato" usada en las plantas antiguas de Europa¹⁹.

¹⁹ REIFF, F. y V. M. WITT, (1992). Guidelines for the Selection and Application of Disinfection Technologies for Small Towns and Rural Communities in Latin America and the Caribbean, PAHO Technical Series No 30, Washington, D.C.

2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS Y AGUAS RESIDUALES CON OZONO

Existen varios reportes en la bibliografía especializada sobre el empleo del ozono para el tratamiento químico de aguas residuales y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo las aguas servidas o residuales domésticas²⁰. Las eficiencias de remoción de color, materia orgánica y microorganismos son relativamente elevadas y, actualmente lo que conspiraba contra la ozonización ya se ha eliminado un alto porcentaje, es decir, el costo de los ozonizadores²¹.

Leiva²² realizó con éxito el tratamiento oxidativo con ozono de las ligninas contenidas en el licor negro residual de una industria que produce pulpa de papel a partir de bagazo de caña y que no recupera energéticamente dicha corriente. Se lograron porcentajes de decoloración superiores al 80 %, los cuales se incrementaron en la medida en que los Sólidos Suspendidos Totales del agua residual disminuían.

²⁰ McGRUFF, R. 2001. Ozone utilization for depurating of wastewater. JWPCF, Vol.XXXIII, No. 5, pág. 18-26, New York.

²¹ ELECTROZONO. 2002. Producción industrial de ozono - Técnicas constructivas. Pharma Portal. Buenos Aires.

²² LEIVA, A. 1986. Tratamiento físico-químico de residuales de la industria papelera. Tesis de Grado para la obtención del título de Ph.D., Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana.

Montone et al.²³ Reportaron el empleo del ozono como agente oxidante de la materia orgánica en aguas residuales crudas de fábricas de cervezas. Obtuvieron eficiencias de eliminación de DBO₅ en el rango de 83 – 98 %, en tiempos tan bajos como 10 min, con una corriente de aire ozonizado burbujeando en el reactor.

Metcalf & Eddy²⁴ reportan el uso del ozono como agente desinfectante de excelente efectividad. El ozono es un oxidante extremadamente reactivo, y está ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias por ozonización se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular (lisis celular). El ozono también es un virulicida muy efectivo, y, asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro. La ozonización no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección. Por estas razones se considera la ozonización como una alternativa viable a la cloración o la hipocloración, especialmente en aquellos casos en los que sea preciso clorar el agua desinfectada²⁵.

En cuanto al impacto ambiental de la desinfección con ozono puede decirse que, al contrario de lo que sucede con los demás agentes desinfectantes, los

²³ MONTONE, S. et al. 1998. Chemical treatment of brewing wastewaters. JWPCF, Vol. XXVIII, No. 3, pág. 10-22, New York.

²⁴ METCALF & EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Ed. McGraw-Hill / Interamericana. Vol. I, Madrid.

²⁵ SCHROEDER, E.D. y TCHOBANOGLOUS, G. 1990. Water and wastewater treatment, Addison Wesley, Reading, Boston.

efectos del ozono sobre el medio ambiente son esencialmente beneficiosos. Existe información que indica que el ozono puede ser un tóxico agudo para la vida acuática. No obstante, dado que el ozono se disipa muy rápidamente, normalmente no es de esperar que exista cantidad alguna de ozono residual en el efluente en el momento de ser descargado a los cuerpos de agua receptores. Algunas investigaciones han concluido que el ozono puede producir algunos compuestos tóxicos mutagénicos o carcinógenos. No obstante, estos compuestos son inestables, y su presencia en el agua ozonizada sólo se prolongaría por espacio de unos minutos. Por lo tanto, no es de suponer que estos compuestos estuvieran presentes en el efluente en el momento de la descarga a los cuerpos receptores de agua.

White¹⁴ (1985) ha concluido que el ozono colabora en la destrucción de determinadas sustancias refractarias nocivas como el ácido húmico (precursor de la formación del trihalometano) y el malatión. La formación de subproductos tóxicos durante la ozonización depende de la dosis de ozono, del tiempo de contacto, y de los compuestos inicialmente presentes. Existen informaciones que indican que la ozonización previa al proceso de desinfección por cloración reduce la posibilidad de formación de trihalometano.

Otra de las ventajas que se deriva del empleo de ozono para la desinfección es que se elevará la concentración de oxígeno disuelto del efluente, hasta valores cercanos a la concentración de saturación, como consecuencia de la rápida descomposición del ozono en oxígeno. Este hecho puede permitir no tener que

¹⁴ IBIDEM, pág.24.

reairear el efluente para cumplir con las limitaciones normativas de calidad del efluente relacionadas con la concentración de oxígeno disuelto. Es más, debido a que el ozono se descompone rápidamente, no queda en el efluente ningún compuesto químico residual que precise ser eliminado, como ocurría con el cloro residual.

El agua es uno de los recursos naturales esenciales para la vida, por lo que su calidad tiene clara influencia sobre la salud de las plantas, los animales y el hombre.

La contaminación microbiana de las aguas da lugar a la aparición de infecciones o brotes epidémicos que dañan la salud de los seres humanos, de ahí la importancia sanitaria de la eliminación y control de las infecciones hídricas severas como la gastroenteritis, desintería, hepatitis, fiebre tifoidea y giardiasis.

El cloro, debido a su capacidad para destruir microbios, es uno de los productos más usados para la desinfección de aguas. No obstante el cloro es capaz de reaccionar con los compuestos orgánicos presentes en las aguas, produciendo sustancias que pueden causar daño a la salud humana por su efectos mutagénicos y carcinogénicos.

Una forma de garantizar la desinfección de las aguas y evitar la producción de estas sustancias tóxicas es el empleo del ozono como agente desinfectante. El ozono es ampliamente conocido y utilizado en la rápida y efectiva inactivación de microorganismos patógenos, ya que es un potente oxidante y posee un demostrado efecto germicida de amplio espectro contra bacterias, hongos,

virus y quistes de parásitos, que afectan tanto a los animales como al hombre. Por estas propiedades el ozono se emplea en procesos de potabilización de aguas, tratamiento de piscinas, y residuales tanto industriales como domésticos, así como para otros usos o procesos en los que se requiera agua de muy elevada calidad microbiológica.

2.5. ELEMENTOS RELACIONADOS CON LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS

2.5.1. Revisión Ambiental Inicial (RAI)

En el Anexo 1 se presenta la lista de verificación para la determinación de la revisión ambiental inicial en el I. Municipio de Alausí sobre la actual disposición de las aguas servidas de la ciudad.

2.5.2. Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental

En el Anexo 2 se presenta un modelo de la Matriz de Leopold²⁶ para la evaluación del impacto ambiental de descargas de aguas residuales en un recurso hídrico superficial.

²⁶ LEIVA, A. y VIÑAS, M. (1992). Evaluación de Impacto Ambiental. Texto para el Curso de Postgrado "Ingeniería Ambiental", desarrollado en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CINC). Ciudad de la Habana.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. REVISIÓN AMBIENTAL INICIAL (RAI)

Aplicando el modelo diseñado al efecto y que aparece en el Anexo 1, se desarrolló la Revisión Ambiental inicial de la actual disposición de las aguas servidas de la ciudad de Alausí en el río Chanchán. Los resultados fueron los siguientes:

ASPECTO A EVALUAR	CATEGORÍA				EVALUACIÓN
	E 5	B 3	R 2	M 0	
I. POLÍTICA AMBIENTAL					
1. ¿Se dispone de una política ambiental diseñada para el cantón?			X		2
2. ¿Cumple con todos los requisitos especificados por la norma ISO 14001?				X	0
II. PLANIFICACIÓN					
<i>a) Aspectos medioambientales</i>					
1. ¿Conocen los aspectos ambientales de la actividad?					
• Dirigentes de las comunidades			X		2
• Personal en general				X	0
2. ¿Se dispone de las medidas necesarias para la correcta identificación y evaluación de estos aspectos?				X	0

3. ¿Se dispone de datos cuantitativos de todos ellos?				X	0
<i>b) Requisitos legales y otros requisitos</i>					
1. ¿Conocen toda la normativa que es de aplicación para la actividad?				X	0
2. ¿Se han identificado los requisitos legales de la actividad?			X		2
3. ¿Cuáles son los medios que se utilizan para asegurar un conocimiento progresivo de la nueva legislación ambiental?			X		2
4. ¿Se dispone de algún servicio de actualización de la legislación?				X	0
<i>c) Objetivos y metas</i>					
1. ¿En la cuenca se han planteado sus objetivos ambientales?		X			3
2. ¿Se dispone de programa ambiental?			X		2
III. IMPLANTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO					
<i>a) Estructura y responsabilidades</i>					
1. ¿Se dispone de personal dedicado a temas ambientales?			X		2
2. Están definidas actualmente las responsabilidades ambientales?			X		2
3. Se dispone de procedimientos de formación ambiental?				X	0
4. ¿El personal del Municipio ha recibido algún tipo de formación referente a los aspectos ambientales de la disposición de las aguas servidas?			X		2
<i>b) Control operacional</i>					
1. ¿Se han identificado las actividades del manejo de las aguas servidas?			X		2

2. Actualmente, ¿están sujetas a algún tipo de control?				X	0
3. ¿Se realiza algún tipo de tratamiento de las aguas servidas?				X	0
4. ¿La gestión de aguas servidas contempla las exigencias de la normativa aplicable?				X	0
IV. DOCUMENTACIÓN					
1. ¿Hay documentación sobre métodos de actuación ambiental en el Municipio?			X		2
2. ¿Hay implementado un sistema de calidad ambiental en el manejo del sistema de alcantarillado?			X		2
V. PLANES DE EMERGENCIA Y CAPACIDAD DE RESPUESTA					
1. ¿Se dispone de un sistema documental sobre seguridad e higiene en el trabajo del sistema de alcantarillado?			X		2
2. ¿Se dispone de algún procedimiento de actuación a llevar a cabo en caso de un incidente o accidente puntual que pueda afectar al medio?				X	0
3. ¿Se dispone de algún plan de emergencia para con el ambiente?				X	0
4. ¿Conocen el peligro de las aguas servidas y de su actual manejo y disposición?		X			3
5. ¿Se han identificado los riesgos derivados de las actividades de acueducto y alcantarillado con repercusiones ambientales?				X	0
6. ¿Existen documentos que indiquen cómo actuar en estos casos?				X	0
VI. COMPROBACIÓN Y ACCIÓN CORRECTORA					
<i>a) Seguimiento y medición</i>					
1. ¿Se dispone de un plan de seguimiento de los parámetros relacionados con el manejo de las				X	0

aguas servidas?					
2. ¿Se dispone de algún tipo de documentación sobre seguimiento y medición de aspectos ambientales?				X	0
3. ¿Se han llevado a cabo acciones correctoras y/o preventivas en caminadas a la reducción del impacto producido?				X	0
<i>b) Registros</i>					
¿Existe algún tipo de sistema actual de control de registros ambientales?				X	0
<i>c) Auditorías</i>					
1. ¿Existe algún procedimiento de realización de auditorías al manejo de las aguas servidas donde se incluyan los aspectos ambientales?				X	0
2. ¿Alguna vez se ha realizado una auditoría ambiental a las actividades municipales relacionadas con el manejo de las aguas servidas?				X	0
VII. REVISIÓN					
1. ¿Se revisa periódicamente el sistema organizativo ambiental del Municipio?				X	0
TOTALES	0	2	12	21	30
PUNTAJE POSIBLE					175
PORCENTAJE ADQUIRIDO					17,14

De los resultados de la RAI se aprecia que, sobre el manejo y disposición de las aguas servidas, en la ciudad de Alausí, se presentan deficiencias en el orden de la gestión ambiental de las mismas, lo cual se verifica con el bajo porcentaje con que se evalúa la RAI, es decir, 17 % del puntaje total posible de obtener, destacándose particularmente dos hechos:

- a) El Municipio no cuenta con planes de contingencia ni de Educación Ambiental con respecto al manejo de las aguas servidas de la localidad.

- b) No sólo no se trata esta corriente residual antes de ser vertida al río Chanchán, sino que no se tiene prevista solución alguna al respecto.

3.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTUAL DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS

Al aplicar el instrumento correspondiente a la matriz de Leopold (Anexo 2) se obtuvieron los siguientes resultados:

ACCIONES FACTORES AMBIENTALES	Aguas servidas	Actual potabilización de agua	Actual distribución de agua potable	Regadío con aguas servidas	Estado de canalización	Carencia de emisario final	Crecimiento poblacional	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
Aguas superficiales	- 5 / 5			- 3 / 4			- 3 / 3	0	11	- 46
Aguas subterráneas	- 2 / 3				- 2 / 4	- 2 / 3		0	6	- 20
Suelos	- 2 / 5			- 5 / 5	- 3 / 4	- 1 / 3	- 4 / 5	0	15	- 70
Atmósfera	- 3 / 5						- 3 / 2	0	6	- 21
Erosión				- 1 / 1		- 3 / 3		0	4	- 10
Cosechas (productividad)	1 / 3			5 / 5	1 / 1	1 / 1		8	0	30
Cosechas (calidad)	- 3 / 2			- 5 / 5	- 1 / 1	- 1 / 1		0	10	- 33
Pesca	- 4 / 4							0	4	- 16

Baño	- 5 5	3 4	3 4				- 2 2	6	7	- 5
Camping	- 4 4	3 4		- 4 4	- 1 3	- 2 3	- 3 2	3	14	- 36
Excursión	- 4 4	3 4		- 4 4	- 1 3	- 2 3	- 3 2	3	14	- 36
Zonas de recreo	- 3 4	3 4	4 5		- 1 3	- 2 3	- 3 2	7	9	5
Vistas panorámicas y paisajes	- 2 2				- 1 1	- 3 2		0	6	- 11
Vectores de enfermedades	- 5 5	5 5	5 5	- 5 5	- 5 5	- 3 5		10	18	- 40
Salud y seguridad	- 5 5	3 5	3 5	- 5 5	- 5 5	- 2 3	- 1 2	6	18	- 53
Invasión de malezas	- 3 3			- 5 3	- 5 3	- 4 3		0	17	- 51
Afectaciones positivas	1	20	15	5	1	1	0			
Afectaciones negativas	50	0	0	37	25	25	22			
AGREGACIÓN DE IMPACTOS	- 192	88	72	- 135	- 95	- 75	- 59			- 413

3.3. ESTUDIOS DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD DE ALAUSÍ

3.3.1 CAUDAL DE AGUAS SERVIDAS

Durante siete días consecutivos se realizaron mediciones horarias del caudal de forma similar al muestreo efectuado para la caracterización de las aguas servidas de la localidad de Alausí, es decir, 40 mediciones (5 diarias durante 8 días), empleando un tanque de 150 litros como aforo. Teniendo en cuenta los algo más de 10 000 habitantes de la ciudad de Alausí, los resultados de las mediciones en los dos puntos de vertimiento al río Chanchán es de 8,57 L/s (4,55 L/s directamente debajo del puente vía a Huigra y; 4,02 L/s unos 50 m después de dicho puente).

Si se tiene en consideración el aumento poblacional estimado hasta el año 2 020, predice una población de 18 680 habitantes, el caudal real promedio de diseño sería de 16 L/s. Si la desviación estándar de las mediciones es de 1,72 L/s, se tiene que:

$$Q_{\text{máx}} = 17,72 \text{ L/s} \Rightarrow 1\,531,01 \approx 1\,531 \text{ m}^3/\text{día} \text{ al año } 2\,020 \text{ (Caudal máximo)}$$

$$Q_{\text{med}} = 16,00 \text{ L/s} \Rightarrow 1\,382,40 \approx 1\,382 \text{ m}^3/\text{día} \text{ al año } 2\,020 \text{ (Caudal medio)}$$

$$Q_{\text{mín}} = 14,28 \text{ L/s} \Rightarrow 1\,233,79 \approx 1\,234 \text{ m}^3/\text{día} \text{ al año } 2\,020 \text{ (Caudal mínimo)}$$

3.3.2 CAUDAL DEL RÍO CHANCHÁN

En la sección transversal del río Chanchán considerada el ancho medido fue de 4,80 m, con profundidad promedio de 0,355 m, lo que implica que el área de flujo (A_f) se calcula:

$$A_f = (4,80 \text{ m})(0,355 \text{ m}) = 1,70 \text{ m}^2$$

La velocidad media de la corriente medida en el sector para el que se midieron el ancho y la profundidad promedio del río fue de 0,88 m/s, por lo que el caudal de la corriente ($Q_{Río}$) se calcula:

$$Q_{Río} = v_{media} \times A_f$$

$$Q_{Río} = \left(0,88 \frac{m}{s}\right) (1,704 m^2)$$

$$Q_{Río} = 1,50 \frac{m^3}{s} = 1500 \frac{L}{s}$$

3.3.3 BALANCE DE OXÍGENO DISUELTO

$$Q_{Río} = 1500 L/s$$

$$Q_{AS} = 16 L/s = \text{Caudal de aguas servidas}$$

$C_{AST}(O_2) = 10,70 \text{ mg/L} =$ concentración promedio de oxígeno disuelto del efluente del tratamiento de las aguas servidas con ozono

$C_{Río}(O_2) = 2,3 \text{ mg/L} =$ concentración promedio de oxígeno disuelto del agua del río justo antes del punto de descarga de las aguas servidas

$$Q_{Río} \times C_{Río}(O_2) + Q_{AST} \times C_{AST}(O_2) = (Q_{Río} + Q_{AST}) C_T(O_2)$$

donde: $C_T(O_2) =$ Concentración de oxígeno disuelto de la mezcla río y aguas servidas tratadas.

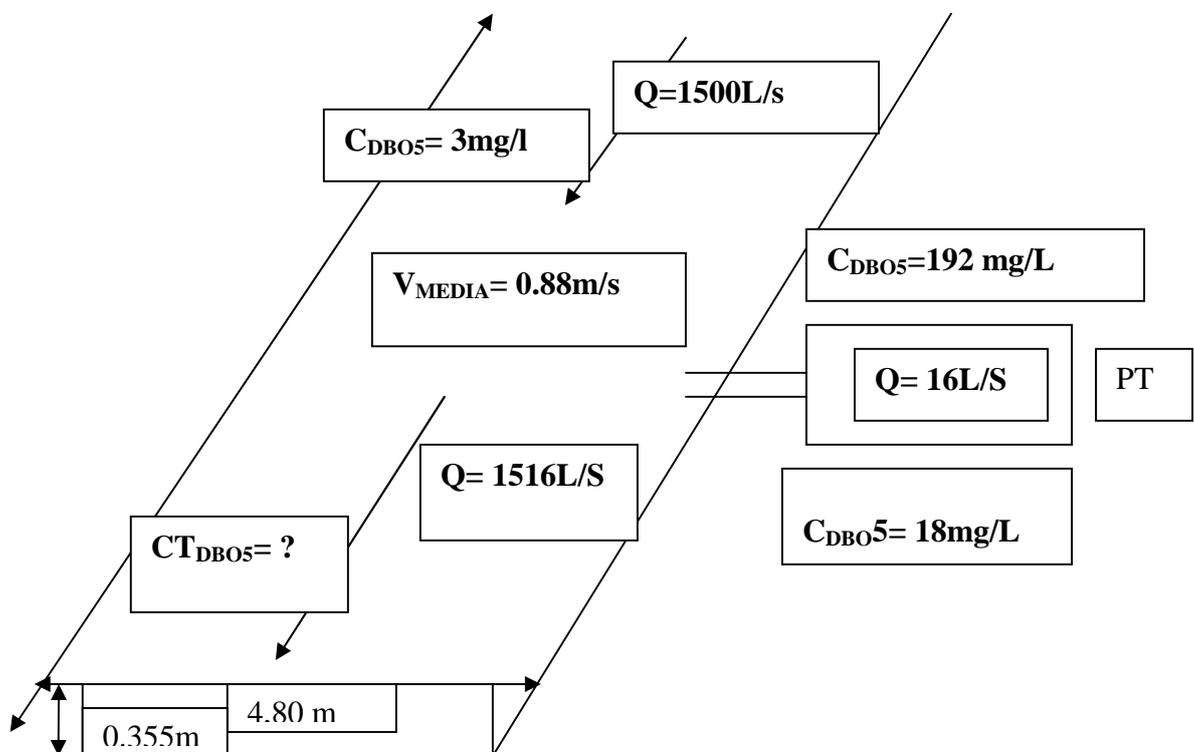
$$C_T(O_2) = \frac{Q_{Río} \times C_{Río}(O_2) + Q_{AST} \times C_{AST}(O_2)}{Q_{Río} + Q_{AST}}$$

$$C_T(O_2) = \frac{1500 \frac{L}{s} \times 2,3 \frac{mg}{L} + 16 \frac{L}{s} \times 10,7 \frac{mg}{L}}{1500 \frac{L}{s} + 16 \frac{L}{s}}$$

$$C_T(O_2) = 2,40 \text{ mg/L}$$

La medición del O_2 disuelto aguas abajo del segundo punto de vertimiento rindió una concentración de 2,36 mg/L, lo que implica una diferencia con respecto a la calculada del 1,67 %.

3.3.4 BALANCE DE D.B.O₅



$$Q_{RÍO} \times C_{RÍO} (DBO_5) + Q_{AST} \times C_{AST} (DBO_5)$$

$$= (Q_{RÍO} + Q_{AST}) CT (DBO_5)$$

$$Q_{Río} = 1\,500 \text{ L/s}$$

$$Q_{AS} = 16 \text{ L/s} = \text{Caudal de aguas servidas.}$$

$C_{AST}(DBO_5) = 18\text{mg/L}$, = concentración promedio de DBO_5 del efluente del tratamiento de las aguas servidas con ozono

$C_{Río}(DBO_5) = 3 \text{ mg/L}$ = concentración promedio de oxígeno disuelto del agua del río justo antes del punto de descarga de las aguas servidas

$C_{AST}(DBO_5) = 192\text{mg/L}$, = concentración promedio de DBO_5 del efluente de las aguas servidas sin tratamiento con ozono

$$C_T (DBO_5) = \frac{Q_{Río} \times C_{Río} (DBO_5) + Q_{AST} \times C_{AST} (DBO_5)}{Q_{Río} + Q_{AST}}$$

$$C_T (DBO_5) = \frac{1500 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 16 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 192 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1500 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 16 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$C_T (DBO_5) = \frac{1500 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 16 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 18 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1500 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 16 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$C_T (DBO_5) = 5\text{mg/L}$$

$$C_T (DBO_5) = 3,15\text{mg/L}$$

$$\%DBO_5 = \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\%DBO_5 = \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 3,15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\%DBO_5 = -67$$

$$\%DBO_5 = -10$$

3.3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS

Teniendo en cuenta los resultados de las 40 muestras analizadas (Laboratorios de la Empresa Etapa de la ciudad de Cuenca) para la determinación de las características principales de las aguas servidas de la localidad bajo estudio, se presenta en la Tabla No. 3.1, donde se muestra los valores promedio de las concentraciones de los diferentes parámetros considerados, con sus correspondientes desviaciones estándar y sus coeficientes de variación. Los análisis fueron realizados según APHA²⁷. Según estos datos, esta agua pueden ser catalogadas como de fortaleza media, según criterio de Metcalf y Eddy.

Como se puede apreciar, de los datos mostrados en la Tabla No. 3.1, los valores de las concentraciones promedio de los nueve parámetros considerados, se corresponden con los de aguas servidas entre medias²³, con coeficientes de variación relativamente bajos, con excepción del Nitrógeno Total y orgánico que fueron del 19 y del 25 %, respectivamente.

²⁷ APHA, AWWA, WPCF. (1995). Standard methods for the examination of waters and wastewaters. APHA/AWWA/WPCF. Washington, D.C.

²³ IBIDEM, Pág.40

Tabla No. 3.1. Resultados de la caracterización de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, según los datos de 40 muestras.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (mg/L)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
Sólidos Totales (ST),mg/L	788	44	5,58
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	252	31	12,30
Sólidos Disueltos Totales (SDT), mg/L	536	37	6,90
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) a 20 °C, mg/L	202	29	14,36
Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/L	483	34	7,04
Nitrógeno total, mg/L	32	6	18,75
Nitrógeno orgánico, mg/L	12	3	25,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,45 x 10 ⁶	2,68 x 10 ⁵	10,94
Coliformes Fecales (CF), células/100 MI	10 500	458	4,36

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de campo y laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

A continuación se presentan vistas relacionadas con la ciudad de Alausí y con la descarga de las aguas servidas en las aguas del río Chanchán.



Fig. 3.1-A. Vista general de la ciudad de Alausí.



Fig. 3.1-B. Vista de una de las partes turísticas y principales de la ciudad de Alausí, cuyo ambiente puede afectarse significativamente de continuar el actual manejo de las aguas servidas que en la misma se generan.



Fig. 3.2. Vista de la descarga de las aguas servidas (parte central superior) en el seno de las aguas del río Chanchán.



Fig. 3.3. Otra vista de la descarga de las aguas servidas (parte central superior) en el seno de las aguas del río Chanchán.

3.4. EL PROCESO DE OZONIZACION

El equipo empleado en el proceso de experimentación de la ozonización de las aguas servidas de la ciudad de Alausí se muestra en la Figura 3.1 y consta de un compresor que envía aire a presión (80 psi) hacia el generador de ozono; el generador de ozono en sí; la toma para la entrada de las aguas servidas al reactor; el reactor a mezcla completa donde se produce la reacción química de oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual. A este reactor, de 16 litros de volumen, entran ambas corrientes, la de aire ozonizado y la de agua residual, permaneciendo el tiempo de retención predeterminado (2 y 3 min) para cada experimento, según investigaciones previas realizadas al efecto. Se desarrollaron 5 experimentos con cada tiempo de retención y temperatura ambiente de 17 °C. Este equipo fue diseñado y construido por la Empresa CAMI Ltda., propiedad del Ing. Tito Calva.

El agua residual se alimenta a un filtro dry wet continuo de cuatro fases, cada una con estructuras tronco cónicas plásticas de 36 cm de altura, 26 cm de diámetro en los 12 cm de altura de material filtrante. En la primera etapa el material filtrante está constituido por piedras de unos 0,250 cm de diámetro equivalente; en la segunda etapa se colocan piedras de 0,125 cm de diámetro equivalente y en las tercera y cuarta etapas, el medio filtrante lo constituye arena fina de río.

El generador de aire ozonizado produce una mezcla ozono-aire con flujo de 60 L/min, de los cuales 2,4 L/min son de ozono puro, es decir que el rendimiento

de ozono del generador es del 4 %, a partir de aire. El reactor cuenta con 16 L de volumen efectivo y el difusor poroso de aire ozonizado tiene 10,5 cm de largo por 7 cm de ancho y 5 cm de espesor.



Fig. 3.4. Vista exterior del sistema de filtración previo a la oxidación química mediante ozono.



Fig. 3.5. Vista del fondo de las diferentes etapas de filtración previa a la oxidación química con ozono.



Fig. 3.6. Vista del medio filtrante más fino (arena fina) de la última etapa de filtración.



Fig. 3.7. Vista del medio filtrante de grosor medio (arena de grosor mediano) de la etapa intermedia de filtración.



Fig. 3.8. Vista del medio filtrante de mayor grosor (grava) de la etapa primaria de filtración.



Fig. 3.9. Vista del tanque reactor donde se realiza el proceso de oxidación química mediante ozono; observándose en la parte inferior del mismo el sistema difusor de aire ozonizado.



Fig. 3.10. Vista donde se aprecia mejor el difusor de aire ozonizado dentro y al fondo del tanque reactor.



Fig. 3.11. Vista completa del sistema de tratamiento experimentado donde se aprecia el sistema de filtración ya mostrado, el tanque reactor batch en cuanto al agua servida y continuo en cuanto a la corriente de aire ozonizado, el recipiente que encierra al ozonizador, precedido por la bomba de aire que lo alimenta.



Fig. 3.12. Sistema productor de ozono, a partir de aire en este caso.



Fig. 3.13. Bomba suministradora de aire al sistema productor de ozono.

CAPITULO IV

4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Tabla No. 4.1.1. Resultados del experimento E-1 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 2 min (0,03 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	102	86,92
SST, mg/L	259	23	91,11
SDT, mg/L	521	79	84,84
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	18	90,63
DQO, mg/L	470	42	91,06
Nitrógeno total, mg/L	36	30	16,67
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	4	73,33
Coliformes Totales, NMP/100 MI	2,95 x 10 ⁶	233 640	92,08
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	712	93,46

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.1.2. Resultados del experimento E-2 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 2 min (0,03 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	131	83,26
SST, mg/L	259	18	93,04
SDT, mg/L	521	113	78,31
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	15	92,25
DQO, mg/L	470	32	93,19
Nitrógeno total, mg/L	36	29	19,44
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	6	60,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	201 510	93,17
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	650	94,03

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.1.3. Resultados del experimento E-3 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 2 min (0,03 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	118	84,87
SST, mg/L	259	22	91,51
SDT, mg/L	521	96	81,57
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	24	87,50
DQO, mg/L	470	38	91,91
Nitrógeno total, mg/L	36	32	9,00
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	4	73,33
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	251 432	91,48
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	686	93,69

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.1.4. Resultados del experimento E-4 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 2 min (0,03 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	94	87,95
SST, mg/L	259	19	92,66
SDT, mg/L	521	75	85,60
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	23	88,02
DQO, mg/L	470	49	89,57
Nitrógeno total, mg/L	36	28	22,22
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	5	66,67
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	218 746	92,58
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	753	93,08

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.1.5. Resultados del experimento E-5 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 2 min (0,03 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	90	88,46
SST, mg/L	259	16	93,82
SDT, mg/L	521	74	85,80
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	15	92,19
DQO, mg/L	470	35	92,55
Nitrógeno total, mg/L	36	24	33,33
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	4	73,33
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2.95 x 10 ⁶	240 728	91,84
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	693	93,63

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.1.6. Resumen de los resultados de los experimentos E-1 – E-5 con tiempo de retención de 2 min (0,03 h).

No.	CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
1	ST, mg/L	780	107	86,29
2	SST, mg/L	259	19,60	92,43
3	SDT, mg/L	521	87,4	83,22
4	DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	19	90,12
5	DQO, mg/L	470	39	91,66
6	Nitrógeno total, mg/L	36	29	20,13
7	Nitrógeno orgánico, mg/L	15	5	69,33
8	Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	229 211	92,23
9	Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	699	93,58

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Fig. 4.13. Eficiencias de remoción de los nueve parámetros considerados con 2 min de tiempo de exposición.

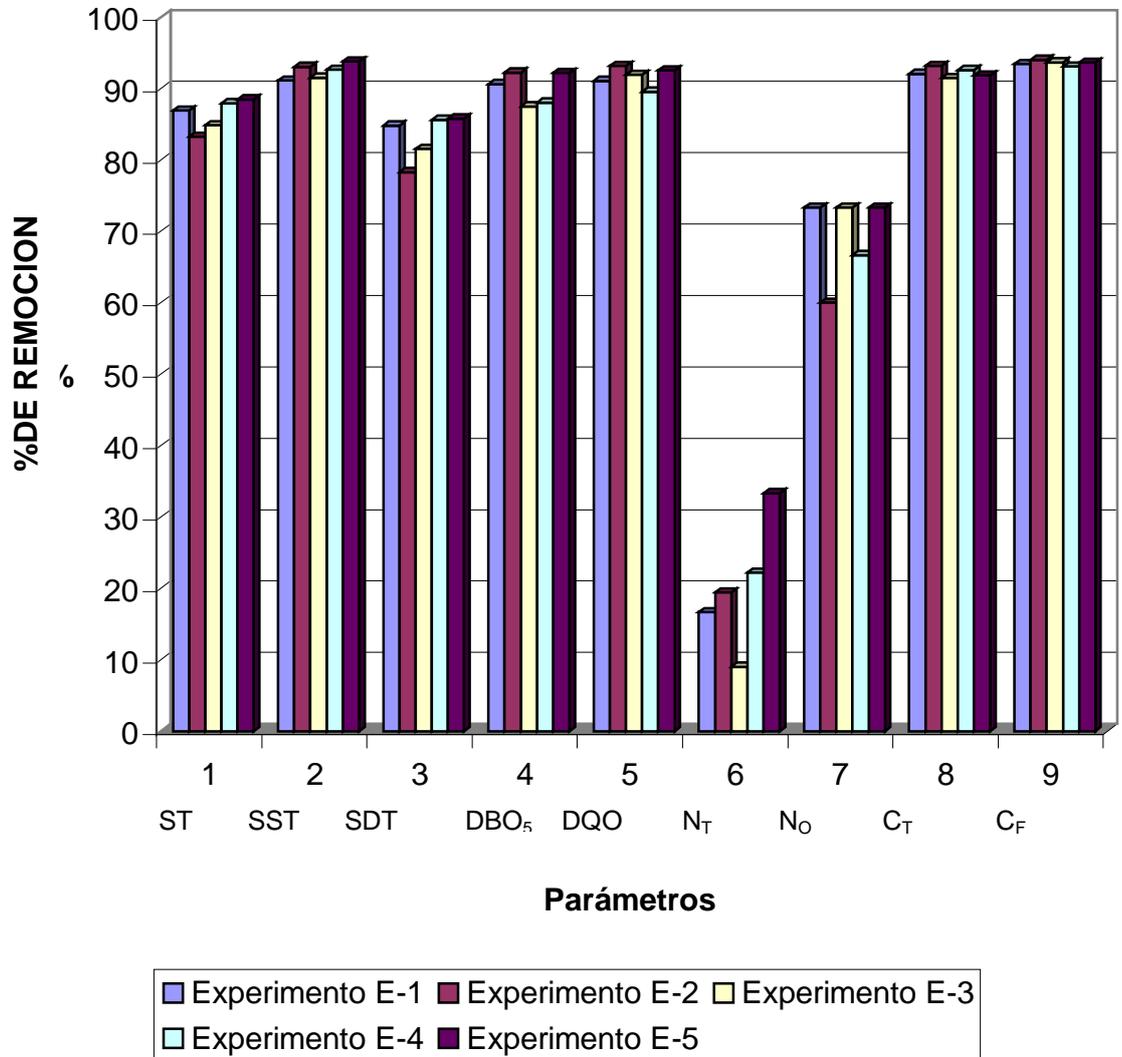
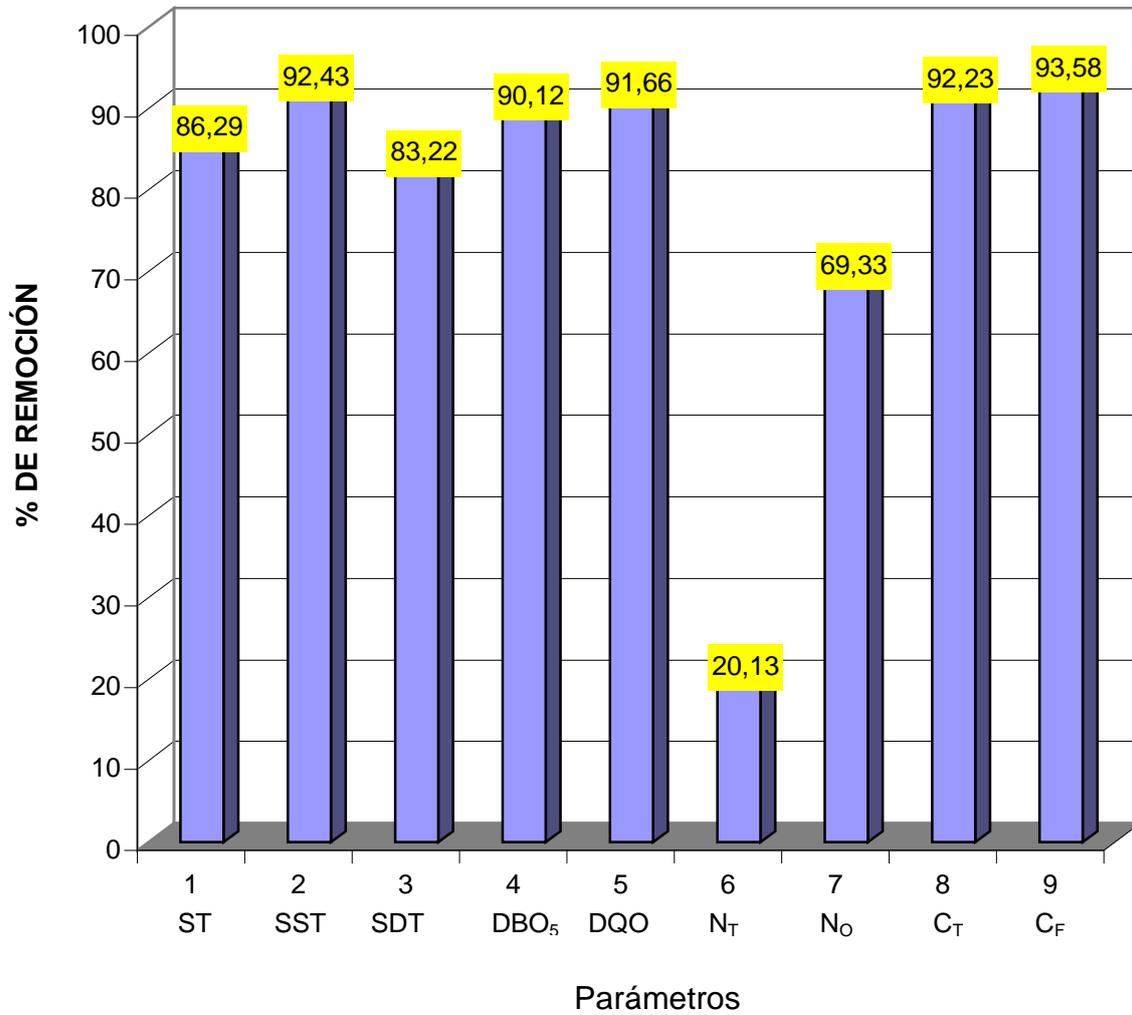


Fig. 4.14. Eficiencias de remoción de los resultados promedio de los cinco experimentos para los nueve parámetros considerados con 2 min de tiempo de exposición.



La serie experimental denotada con las siglas E, que van desde la E-1 hasta la E-5, indicando que son cinco experimentos empleando tiempos de contacto del aire ozonizado con el agua servida de 2 min (valor considerado a partir de pruebas de observación previas realizadas al efecto).

Los nueve parámetros considerados en el estudio exhibieron niveles de eliminación apreciablemente elevados, sobre todo si se comparan con los valores tradicionales que se obtienen empleando otros medios de tratamiento, ya sean físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos, considerando el tiempo de reacción de 2 min.

Teniendo en cuenta los resultados particulares reportados en las Tablas desde el 4.1.1 hasta el 4.1.5 con el gráfico de la Fig. 4.13; el relacionado con los resultados promedios reportados en el Cuadro 4.1.6 y graficados en la Fig. 4.14; a continuación se realizará un análisis con su correspondiente interpretación del comportamiento de cada parámetro indicador de la contaminación por separado, considerando los efectos sinérgicos que puedan presentarse, para la serie experimental E-1 - E-5.

a) Sólidos Totales (ST)

Partiendo de muestras de aguas servidas típicas y homogeneizadas, se partió de un valor de concentración de ST de 780 mg/L, obteniéndose, a los 2 min de reacción con aire ozonizado, un efluente con 107 mg/L de ST, lo que implica una eficiencia de remoción del 86 %. Este valor, si bien

es apreciablemente alto, no lo es con relación al correspondiente a otros parámetros y; la causa más probable de ello, se discutirá más adelante al analizar e interpretar los datos pertenecientes a los SST y SDT.

b) Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Partiendo de un valor de concentración de 259 mg/L, la eficiencia de eliminación de este tipo de sólidos fue del 92 %, es decir, que el efluente del proceso de ozonización en 2 min, tuvo una concentración de SST de 20 mg/L. Es explicable que los SST hayan exhibido mayor eficiencia de remoción que los ST debido a que la mayor parte de los SST son de origen orgánico y por tanto más oxidable químicamente que aquellos de origen inorgánico, los cuales se oxidan, pero hasta un cierto nivel, en el que pasan a formar parte de los SDT.

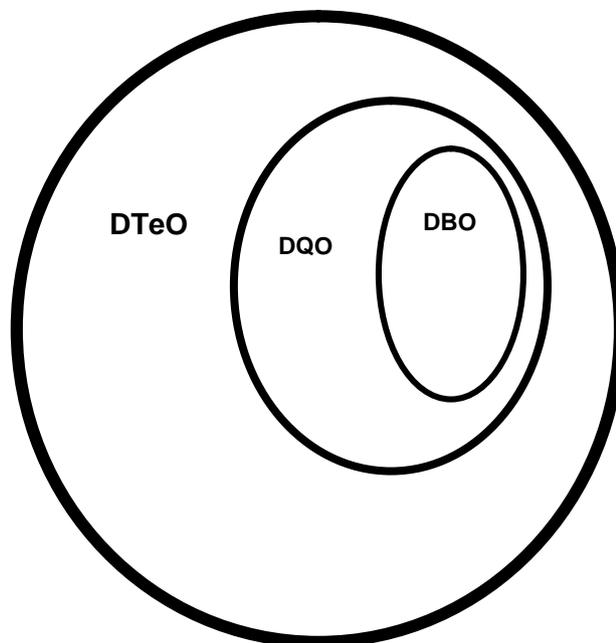
c) Sólidos Disueltos Totales (SDT)

El caso de los SDT viene a corroborar los juicios de valor emitidos anteriormente, es decir, exhibiendo una eficiencia de remoción del 83 %, podría pensarse que esta es relativamente baja, sin embargo, hay que tener en cuenta que los 87 mg/L de SDT que contiene el efluente después de 2 min de ozonización, son sólidos en un considerable estado de oxidación, como se comentará más adelante al abordar la eliminación del nitrógeno. Hay SDT que fueron suspendidos antes de la oxidación y al ser transformados por el ozono se hicieron solubles.

d) Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días a 20 °C (DBO_5 a 20°C)

La DBO es un parámetro que indica la biodegradabilidad de un residuo cualquiera y, como tal, es un subconjunto de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y, a su vez de la Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO).

Empleando un diagrama de Venn, la relación sería, aproximadamente:



Esto es precisamente lo que justifica los elevados valores de la eficiencia de eliminación de este parámetro indicador de la contaminación, la cual promedió 90 % para los 2 min de ozonización, disminuyendo su concentración desde los 192 hasta 19 mg/L.

e) Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DQO, con una eficiencia de remoción muy parecida a la de la DBO, es decir, de casi 92 % como promedio, evidencia que el ozono no sólo es capaz de oxidar a los contribuyentes con la DBO, sino también a toda una serie de sustancias que no sólo se oxidan biológicamente, sino que también la sufren químicamente, al considerar lo enérgico que es el ozono como agente oxidante.

f) Nitrógeno total (N_T)

En las aguas servidas, aunque si bien es cierto que la mayor parte del nitrógeno no es orgánico, si lo es en una significativa proporción del mismo (algo más del 40 %). En este caso para 2 min de tiempo de exposición al ozono, los 36 mg/L de las aguas servidas sometidas al proceso, fueron reducidos sólo a 29 mg/L , o sea, un pobre 20 % de eliminación. La explicación a estas cifras tendrá mayor oportunidad al discutir los datos correspondientes al Nitrógeno orgánico.

g) Nitrógeno orgánico (N_O)

La reducción del N_O promedio resultante es del 69 % debido a que, y esto explica lo que se planteó en el caso del N_T , efectivamente una buena parte del mismo se oxida a nitrito (NO_2^-) y de este continua la oxidación a nitrato (NO_3^-). El resto del nitrógeno no oxidado necesita de un mayor tiempo de contacto con el ozono como quedará demostrado en la serie experimental EE caracterizada por un 50 %

más de duración del contacto que en la serie E. Claro que el N_T no desaparece debido a que lo que hace es transformarse a nitrito y nitrato, contribuyendo al N_T , aunque no al N_O , lo que justifica el pobre 20 % de eliminación del N_T .

h) Coliformes Totales (CT)

La concentración de CT de casi tres millones de células (NMP) por cada 100 ml de aguas servidas, se reduce drásticamente a menos de 230 mil (229 211) NMP/100 mL, lo que implica una remoción significativa del 92 % para los 2 min de retención del aire ozonizado en el reactor. El enérgico poder oxidante del ozono actúa sobre la pared celular de las bacterias, provocando la lisis celular y, por lo tanto, la muerte de las células²⁸.

i) Coliformes Fecales (CF)

Por último, los CF, que constituyen uno de los parámetros indicadores de la contaminación más importantes, debido a que, precisamente, indican presencia de contaminación fecal, a transmitir al recurso hídrico, pudiendo implicar enfermedades de origen entérico en los consumidores directos o indirectos de dichas aguas. De casi 11 000 (10 880 NMP/100 mL), se produce una reducción hasta casi 700 NMP/100 mL, es decir, una eficiencia de eliminación de CF de casi 94

²⁸ RHEINHEIMER, G. (1987). Microbiología de las aguas. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza.

%, en 2 min de tiempo de contacto del agua servida con el aire ozonizado. La explicación a este hecho es similar al caso de los CT, es decir, un ataque eficiente del O_3 sobre la pared celular, provocando la lisis y muerte bacteriana.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con el empleo de un tiempo de retención de 3 min (0,05 h).

Tabla No. 4.2.1. Resultados del experimento EE-1 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 3 min (0,05 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	21	97,31
SST, mg/L	259	6	97,68
SDT, mg/L	521	15	97,12
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
DQO, mg/L	470	5	98,94
Nitrógeno total, mg/L	36	13	63,89
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	0	100,00
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.2.2. Resultados del experimento EE-2 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 3 min (0,05 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	18	97,69
SST, mg/L	259	5	98,07
SDT, mg/L	521	13	97,50
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
DQO, mg/L	470	6	98,72
Nitrógeno total, mg/L	36	10	72,22
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	0	100,00
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.2.3. Resultados del experimento EE-3 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 3 min (0,05 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	19	97,56
SST, mg/L	259	13	94,98
SDT, mg/L	521	6	98,85
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
DQO, mg/L	470	5	98,94
Nitrógeno total, mg/L	36	11	69,44
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	0	100,00
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.2.4. Resultados del experimento EE-4 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 3 min (0,05 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	26	96,67
SST, mg/L	259	12	95,37
SDT, mg/L	521	14	97,31
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
DQO, mg/L	470	7	98,51
Nitrógeno total, mg/L	36	9	75,00
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	0	100,00
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.2.5. Resultados del experimento EE-5 que incluye filtración del agua residual y la oxidación química con tiempo de retención de 3 min (0,05 h) en el ozonizador.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
ST, mg/L	780	16	97,95
SST, mg/L	259	4	98,46
SDT, mg/L	521	12	97,70
DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
DQO, mg/L	470	4	99,15
Nitrógeno total, mg/L	36	10	72,22
Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
Coliformes Totales, NMP/100 mL	2.95 x 10 ⁶	0	100,00
Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Tabla No. 4.2.6. Resumen de los resultados de los experimentos EE-1 – EE-5 con tiempo de retención de 3 min (0,05 h).

No.	CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
1	ST, mg/L	780	20	97,44
2	SST, mg/L	259	8	96,91
3	SDT, mg/L	521	12	97,70
4	DBO ₅ a 20 °C, mg/L	192	0	100,00
5	DQO, mg/L	470	5	98,85
6	Nitrógeno total, mg/L	36	11	70,55
7	Nitrógeno orgánico, mg/L	15	0	100,00
8	Coliformes Totales, NMP/100 mL	2,95 x 10 ⁶	0	100,00
9	Coliformes Fecales (CF), células/100 mL	10 880	0	100,00

Fuente: BRITO, G. (2003). Investigación de laboratorio. ESPOCH. Riobamba.

Fig. 4.15. Eficiencias de remoción de los nueve parámetros considerados con 3 min de tiempo de exposición.

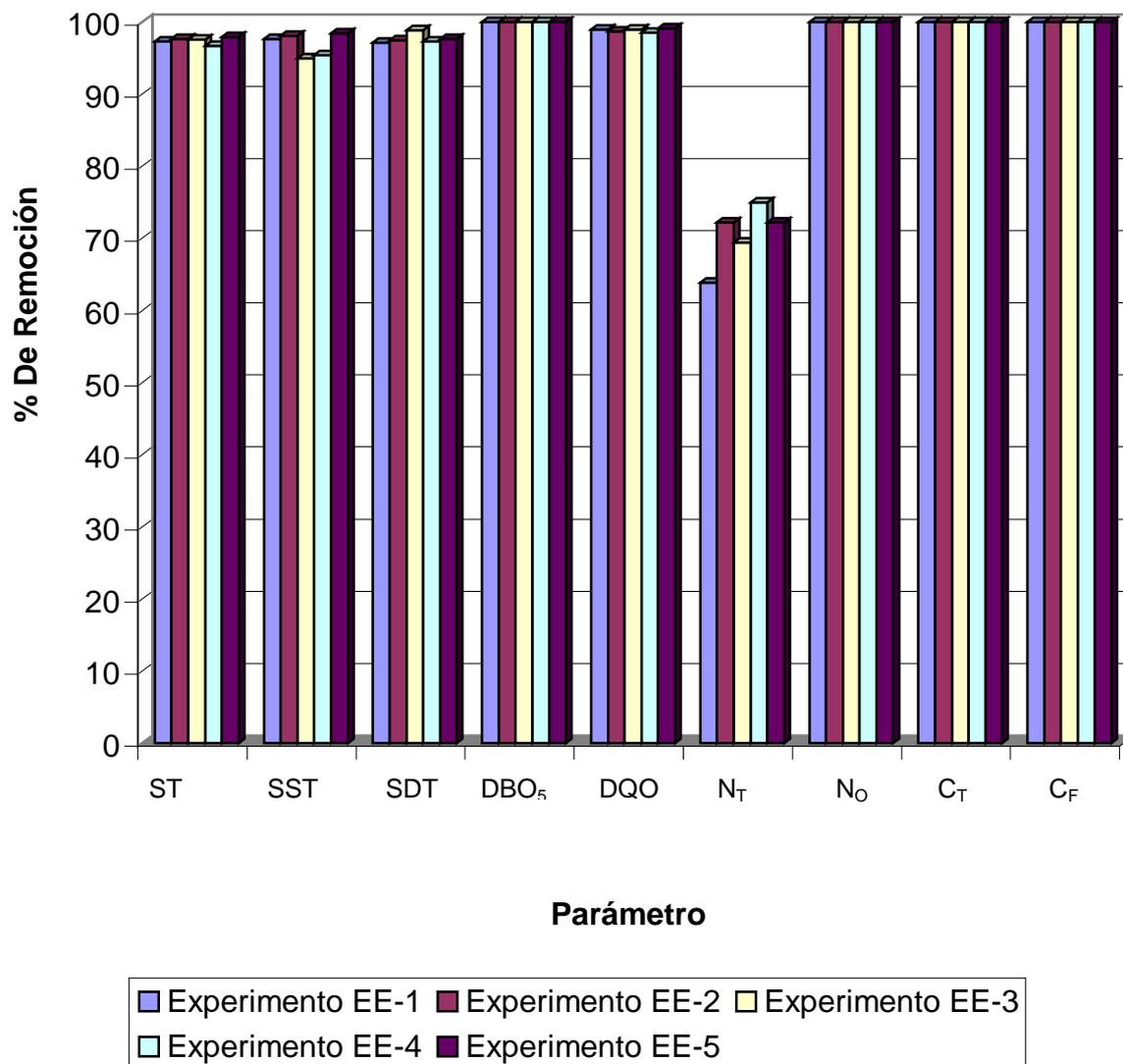
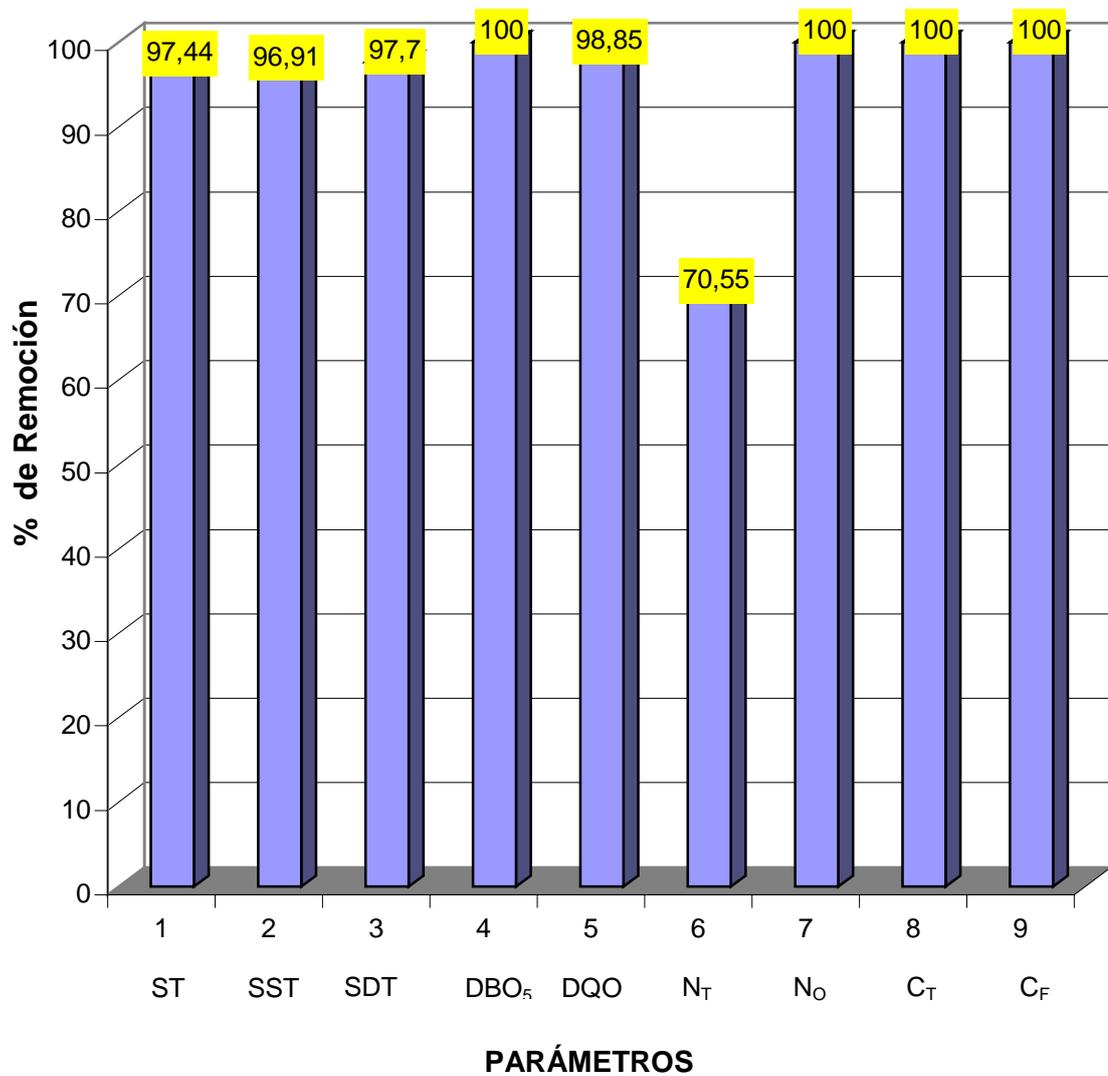


Fig 4.16. Eficiencias de remoción de los resultados promedio de los cinco experimentos para los nueve parámetros considerados con 3 min de tiempo de exposición.



Análogamente, la serie experimental denotada con las siglas EE, que van desde la EE-1 hasta la EE-5, indicando que son cinco experimentos empleando tiempos de contacto del aire ozonizado con el agua servida de 3 min (valor considerado a partir de pruebas de observación previas realizadas al efecto).

Los nueve parámetros considerados en el estudio exhibieron niveles de eliminación muy elevados, sobre todo si se comparan con los valores tradicionales que se obtienen empleando otros medios de tratamiento, ya sean físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos y, teniendo en cuenta que las eficiencias fueron superiores al aumentar el tiempo de contacto entre el aire ozonizado y el agua servida hasta 3 min.

Considerando los resultados particulares reportados en los Cuadros desde el 4.2.1 hasta el 4.2.5 con el gráfico de la Fig. 4.15; el relacionado con los resultados promedios reportados en el Cuadro 4.2.6 y graficados en la Fig. 4.16, determinan que el tiempo de retención de 2 min es suficiente para la obtención de una eficiencia de remoción considerable.

Los resultados de las pruebas individuales, así como los valores promedios de los nueve parámetros indicadores de la contaminación considerados y sus respectivas eficiencias de remoción fueron mayores que los correspondientes al tiempo de contacto de 2 min; reportándose valores de concentración de cero en los casos de la DBO_5 a 20 °C, el Nitrógeno orgánico, y los Coliformes totales y fecales, implicando eficiencias de remoción de 100 % en estos casos

y; para las diferentes formas de sólidos y Demanda Química de Oxígeno, porcentajes de eliminación del 97 % en adelante.

La única excepción la constituye el Nitrógeno total (71 %), debido a lo que ya se discutió en el caso de la serie experimental de tiempo de contacto de 2 min para la reacción, es decir, una parte apreciable del N_T (29 %) se oxida sucesivamente a nitrito y nitrato, integrándose a la concentración de N_T .

4.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA FUTURA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS

Al aplicar el instrumento correspondiente a la matriz de Leopold (Anexo 2) se estima que se obtendría los siguientes resultados:

ACCIONES FACTORES AMBIENTALES	Aguas servidas	Actual potabilización de agua	Actual distribución de agua potable	Regadío con aguas servidas	Estado de canalización	Carencia de emisario final	Crecimiento poblacional	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
Aguas superficiales	2 / 5			3 / 4			- 2 / 3	5	2	16
Aguas subterráneas	- 1 / 3				- 1 / 4	- 1 / 3		0	3	- 10
Suelos	1 / 5			5 / 5	- 1 / 4	- 1 / 3	- 3 / 5	6	5	8
Atmósfera	- 1 / 5						- 1 / 2	0	2	- 7
Erosión				- 1 / 1		- 3 / 3		0	4	- 10
Cosechas (productividad)	- 2 / 3			- 1 / 5	1 / 1	1 / 1		2	3	- 9
Cosechas (calidad)	3 / 2			5 / 5	1 / 1	1 / 1		10	0	33
Pesca	4 / 4							4	0	16

Baño	3 5	3 4	3 4				-2 2	9	2	35
Camping	2 4	3 4		-1 4	-1 3	-1 3	-1 2	5	-4	8
Excursión	2 4	3 4		-1 4	-1 3	-1 3	-1 2	5	-4	8
Zonas de recreo	2 4	3 4	4 5		-1 3	-1 3	-2 2	9	4	30
Vistas panorámicas y paisajes	-1 2				-1 1	-1 2		0	3	-5
Vectores de enfermedades	-1 5	5 5	5 5	-2 5	-2 5	-1 5		10	6	20
Salud y seguridad	5 5	3 5	3 5	-1 5	-1 5	-1 3	-1 2	11	4	40
Invasión de malezas	-2 3			-3 3	-3 3	-2 3		10	17	-30
Afectaciones positivas	1	20	15	5	1	1	0			
Afectaciones negativas	50	0	0	37	25	25	22			
AGREGACIÓN DE IMPACTOS	74	88	72	24	-40	-38	-37			143

Como se puede apreciar, en este caso la Evaluación del Impacto Ambiental correspondiente a la situación futura de la disposición de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, mejora ostensiblemente con respecto a la actual. Es decir, si se considera el tratamiento de dicha corriente residual con aire ozonizado, con un tiempo de reacción de 2 min, o sea, 0,03 horas de contacto ozono agua, bajo las condiciones de producción de ozono consideradas, la EIA variará desde el valor de -413 hasta 143, lo que implica un mejoramiento de la calidad ambiental del 134,62 %.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Según los resultados de la caracterización de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, éstas pueden ser catalogadas como de fortaleza media, con valores de DBO_5 a 20 °C y DQO de 200 y 483 mg/L, respectivamente.
2. En el manejo y disposición de las aguas servidas de la ciudad de Alausí se presentan deficiencias en el orden de la gestión ambiental de las mismas, lo cual se verifica con el bajo porcentaje con que se evalúa la RAI, es decir, 17 % del puntaje total posible de obtener.
3. La Evaluación del Impacto Ambiental correspondiente a la situación futura de la disposición de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, mejoraría ostensiblemente con respecto a la actual, es decir, la EIA variará desde el valor de -413, en la actualidad, hasta 143, de implementarse el sistema de tratamiento, lo que implica un mejoramiento de la calidad ambiental del 134,62 %.

4. Con un tiempo de reacción de 2 min, los nueve parámetros considerados en el estudio, o sea, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días a 20 °C, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total, Nitrógeno Orgánico, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, exhibieron niveles de eliminación apreciablemente elevados, sobre todo si se comparan con los valores tradicionales que se obtienen empleando otros medios de tratamiento, ya sean físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos, considerando el tiempo de reacción de 2 min.
5. Si se tiene en consideración el aumento poblacional estimado hasta el año 2020 de 18 680 habitantes, el caudal real promedio de diseño sería de 16 L/s.
6. Con el tiempo de ozonización de 3 min, las eficiencias de remoción de los parámetros considerados fue aún mayor, todos por sobre el 95 %, con la excepción del Nitrógeno Total, por la formación de nitratos como mayor grado de oxidación del nitrógeno y, que por lo tanto, es estable.
7. En la actualidad, por concepto de las descargas de las aguas servidas crudas, hay un deterioro del 67 % en cuanto a la concentración de DBO₅ de las aguas del río Chanchán (de 3,00 a 5,00 mg/L); mientras que al implementar el sistema propuesto, este deterioro sería sólo del 10 % (de 3,00 a 3,15 mg/L).

8. Como se puede apreciar, debido a la inestabilidad química del ozono, éste se descompone rápidamente, formándose oxígeno disuelto, debido a esto el efluente del proceso contiene cantidad de oxígeno disuelto cercanas a las de saturación; sin embargo debido a que el caudal de este efluente es mucho menor que el caudal del río, en la práctica no habría una contribución significativa de Oxígeno Disuelto del efluente al río.

5.2. RECOMENDACIONES

1. En el Municipio del cantón Alausí deberá implementarse un Sistema de Gestión Ambiental General, en el que uno de sus aspectos fundamentales será el manejo de las aguas servidas de la ciudad, con base en la Evaluación realizada del Impacto Ambiental actual y futuro de las mismas, integrando los dos vertederos en uno, cuyo emisario descargaría en la planta de tratamiento cuyo proceso ha sido propuesto en la presente investigación.
2. Implementar el sistema de tratamiento químico mediante ozonización, con un tiempo de retención en el reactor de 2 min, cuyo costo de operación se financiaría con un aporte de unos 0,15 USD mensuales, por cada uno de los 1500 usuarios (que poseen medidores) de agua con que cuenta el departamento de Agua Potable del Municipio de Alausí.

VI CAPITULO

6. PROPUESTA

6.1 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La investigación realizada en el diseño experimental piloto de tratamiento determina que el tiempo de retención de 2 min es suficiente para la obtención de una eficiencia de remoción considerable para tratar las aguas residuales de la ciudad de Alausí, mediante sistemas tecnológicos apropiados, que propicien la reducción de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación.

El equipo empleado en el proceso de experimentación de la ozonización de las aguas servidas de la ciudad de Alausí, consta de un compresor que envía aire hacia el generador de ozono; el generador de ozono en sí; la toma para la entrada de las aguas servidas al reactor; el reactor a mezcla completa donde se produce la reacción química de oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual. A este reactor, entran ambas corrientes, la de aire ozonizado y la de agua residual, permaneciendo el tiempo de retención predeterminado (2 y 3 min).

6.2 OBJETIVOS

6.2.1 OBJETIVO GENERAL

Utilizar las aguas residuales para funciones de regadío en campos de cultivo en la agricultura sin afectar al medio ambiente.

6.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Utilizar los efluentes tratados para regadío de las zonas agrícolas en el entorno del río Chanchán en el cantón Alausí.
2. Utilizar las aguas tratadas en funciones de regadío para que estas no constituyan una amenaza para la salud y para el medio ambiente.

6.3 JUSTIFICACION

Los resultados de la investigación tendrán una significativa relevancia social, puesto que con la aplicación del sistema propuesto se realizará una apreciable contribución al mejoramiento de las condiciones ambientales de la ciudad y sus entornos, además de que se reducirá el consumo de agua de la cuenca hidrográfica de los ríos Chanchán y Chimbo, debido a la propuesta de emplear las aguas depuradas para la irrigación de los cultivos.

6.4 FUNDAMENTACION

Para el tiempo de retención de dos minutos y, para los 16 L/s, se necesitan 2,88 g/min, que para un día implicarían:

$$2,88 \frac{\text{g}}{\text{min}} \times 1440 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 4,15 \text{kg de } O_3 / \text{d}$$

El equipo considerado tiene un costo estimado de 50 000 USD y consume 8 kW para la producción de 1 kg de O_3 , entonces para la producción de los 4,15 kg de O_3 que se necesitan en un día, se consumirán:

$$\frac{4,15 \text{ kg de } O_3}{X} = \frac{1 \text{ kg de } O_3}{8 \text{ kW}}$$

$X = 33,2 \text{ kW}$ (un día de trabajo con 16 L/s de aguas servidas domésticas).

Considerando el costo de la energía eléctrica a razón de 0,10 USD, se tendría:

$$33,2 \frac{\text{kW}}{\text{d}} \times \frac{0,10 \text{ USD}}{\text{kW}} = 3,3 \frac{\text{USD}}{\text{d}}$$

Teniendo en cuenta los dos minutos, el costo se duplicaría y sería de 6,64 USD/d, lo que, a su vez, implicaría 199 USD mensuales.

Implementar el sistema de tratamiento químico mediante ozonización, con un tiempo de retención en el reactor de 2 min, cuyo costo de operación se financiaría con un aporte de unos 0,15 USD mensuales, por cada uno de los

1500 usuarios (que poseen medidores) de agua con que cuenta el departamento de Agua Potable del Municipio de Alausí.

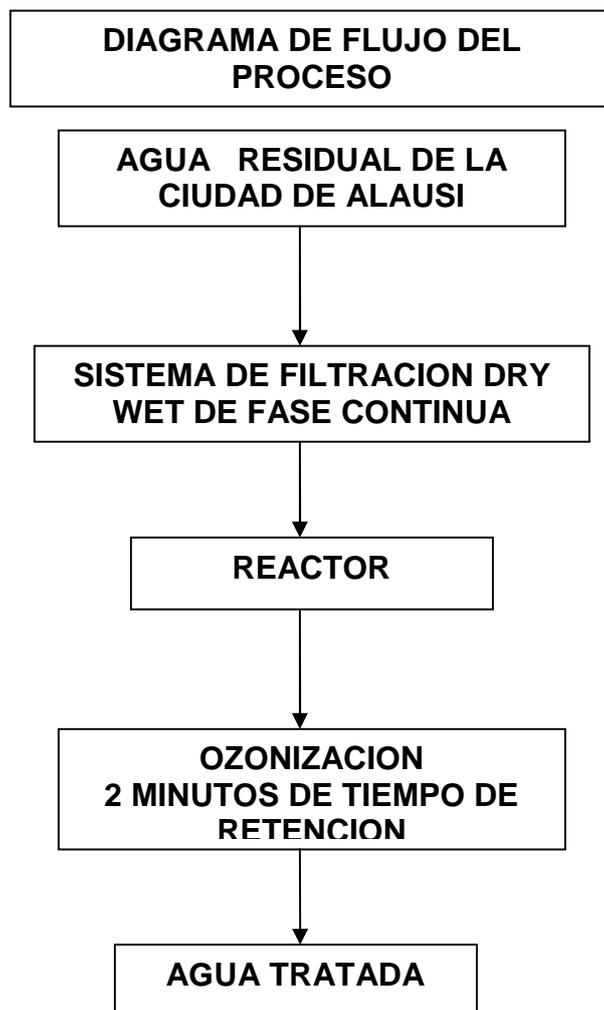
En el caso de que el proceso de ozonización tenga un tiempo de retención de 3 min, el costo del mismo para un día de ozonización con 16 L/s de aguas servidas domésticas sería:

$$\frac{3}{2} \times 6,64 \frac{\text{USD}}{\text{día}} = 9,96 \frac{\text{USD}}{\text{día}}$$

Con un 5 % del costo de la operación principal (ozonización), para cubrir los costos de filtración, control de calidad y transportes de fluido, es decir, 52 500 USD, se puede estipular una Relación Estimada Beneficio Ambiental / Costo de 0,0026 unidades de porcentaje de mejoría de la calidad ambiental (beneficio) por cada USD invertido; por lo que al invertir los 52 500 USD, la calidad ambiental de la localidad mejoraría en 134,62 % ya calculado y concluido.

Si se decidiera por un tiempo de retención de 3 min de ozonización, el costo estimado se elevaría a 9,96 USD diarios, o sea, 298,80 USD mensuales.

6.5...METODOLOGIA



BIBLIOGRAFÍA

1. MARA, D.D. (1976). Sewage treatment in hot climates, John Wiley & Sons, Londres.
2. MENDONZA, S.R. 1987. Parámetros básicos para la elaboración de proyectos de sistema de abastecimiento de agua. CAGEPA, Joao Pessoa, Río de Janeiro.
3. MARA D.D. y CAIRNCROSS, A. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura. OMS, Ginebra.
4. PETULLA, (1987). Environmental Protection in the United States. Industry, Agencies, Environmentalists, San Francisco Study center. San Francisco.
5. ARDEN, E. y LOCKETT, W. T. (1914). Experiments on the oxidation sewage without the aid of filters. J. of Soc. Chem. Ind. Vol 33. London.
6. KIELY, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Ed. McGraw-Hill. Madrid. p 3-6, 669-671.
7. SCANNELL,E. (1998). The Law and Practice Relating to Pollution Control in Ireland. Dublin.

8. IEOS. (1993). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a mil habitantes. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Sub-Secretaría de Saneamiento Ambiental. Quito.
9. AME. 2001. Programa de Gestión Local. Alausí.
10. RICE, R.G., (1986). Analytical Aspects of Ozone Treatment of Water and Wastewater, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-064-9.
11. DEMERS, L.D., et al., (1996). Ozone System Energy Optimization Handbook, AWWA Research Foundation, ISBN 0-9648877-1-1.
12. AKNESS, K.L. et al., (1996). Ozone System Fundamentals for Drinking Water, Opflow, Amer. Water Works Assoc., Vol. 2, No 7.
13. Smith, S. L. (1998). Otto's Experiments on Ozone. Scientific Research Bulletin No. 8. Washington. D.C.
14. MASSCHELEIN, W. J., (1982). Ozonation Manual for Water and Wastewater Treatment, John Wiley & sons, ISBN 0-471-10198-2.
15. WHITE, G. C. (1985). Handbook of Chlorination. Ed. Van Nostrans-Reinhold. 2nd. ed. New York.

16. GENTILE, A.. 2000. Ozonización, Filtración, Germicidas. Ozono Argentina. Buenos Aires.
17. GEORGE, D.B. et al., (1990). Case Studies of Modified Disinfection Practices for Trihalomethane Control, AWWA Research Foundation, ISBN 0-89867-515-4.
18. KRAUSE, T. L., ANDERSON, C. T., MARTENSON, D. R. y SEYFERT, J. D. (1980). Desinfection: Is Chlorination Still The Best Answer. Presented at the 53rd Annual Conference of the WPCF, Las Vegas.
19. REIFF, F. y V. M. WITT, (1992). Guidelines for the Selection and Application of Disinfection Technologies for Small Towns and Rural Communities in Latin America and the Caribbean, PAHO Technical Series No 30, Washington, D.C.
20. McGRUFF, R. 2001. Ozone utilization for depurating of wastewater. JWPCF, Vol. XXXIII, No. 5, pág. 18-26, New York.
21. ELECTROZONO. 2002. Producción industrial de ozono - Técnicas constructivas. Pharma Portal. Buenos Aires.
22. LEIVA, A. 1986. Tratamiento físico-químico de residuales de la industria papelera. Tesis de Grado para la obtención del título de Ph.D., Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana.

23. MONTONE, S. et al. 1998. Chemical treatment of brewing wastewaters. JWPCF, Vol. XXVIII, No. 3, pág. 10-22, New York.
24. METCALF & EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Ed. McGraw-Hill / Interamericana. Vol. I, Madrid.
25. SCHROEDER, E.D. y TCHOBANOGLOUS, G. 1990. Water and wastewater treatment, Addison Wesley, Reading, Boston.
26. LEIVA, A. y VIÑAS, M. (1992). Evaluación de Impacto Ambiental. Texto para el Curso de Postgrado "Ingeniería Ambiental", desarrollado en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CINC). Ciudad de la Habana.
27. RHEINHEIMER, G. (1987). Microbiología de las aguas. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza.

ANEXOS

ANEXO 1

APLICACIÓN DE LA LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA REVISIÓN AMBIENTAL INICIAL EN EL I. MUNICIPIO DE ALAUSÍ SOBRE LA ACTUAL DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD

ASPECTO A EVALUAR	CATEGORÍA				EVA LUA CIÓN
	E 5	B 3	R 2	M 0	
POLÍTICA AMBIENTAL					
3. ¿Se dispone de una política ambiental diseñada para el cantón?					
4. ¿Cumple con todos los requisitos especificados por la norma ISO 14001?					
PLANIFICACIÓN					
<i>d) Aspectos medioambientales</i>					
4. ¿Conocen los aspectos ambientales de la actividad?					
<ul style="list-style-type: none"> • Dirigentes de las comunidades 					
<ul style="list-style-type: none"> • Personal en general 					
5. ¿Se dispone de las medidas necesarias para la correcta identificación y evaluación de estos aspectos?					
6. ¿Se dispone de datos cuantitativos de todos ellos?					
<i>e) Requisitos legales y otros requisitos</i>					
5. ¿Conocen toda la normativa que es de					

aplicación para la actividad?					
6. ¿Se han identificado los requisitos legales de la actividad?					
7. ¿Cuáles son los medios que se utilizan para asegurar un conocimiento progresivo de la nueva legislación ambiental?					
8. ¿Se dispone de algún servicio de actualización de la legislación?					
<i>f) Objetivos y metas</i>					
3. ¿En la cuenca se han planteado sus objetivos ambientales?					
4. ¿Se dispone de programa ambiental?					
IMPLANTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO					
<i>a) Estructura y responsabilidades</i>					
5. ¿Se dispone de personal dedicado a temas ambientales?					
6. Están definidas actualmente las responsabilidades ambientales?					
7. Se dispone de procedimientos de formación ambiental?					
8. ¿El personal de la cuenca ha recibido algún tipo de formación referente a los aspectos ambientales de su trabajo?					
9. Hay alguna descripción de los lugares de trabajo					

donde se incluyen las funciones relacionadas con aspectos ambientales?					
<i>b) Comunicación</i>					
1. Se dispone de vías de comunicación interna / externa sobre aspectos ambientales?					
2. ¿Se mantiene algún tipo de relación o contacto ambiental con instituciones públicas (sanciones, subvenciones, etc.)					
<i>c) Control operacional</i>					
5. ¿Se han identificado las actividades con especial incidencia ambiental?					
6. Actualmente, ¿están sujetas a algún tipo de control?					
7. ¿Se realiza alguna segregación en origen de residuos?					
8. ¿La gestión de residuos contempla las exigencias de la normativa aplicable?					
9. ¿Se tienen en cuenta los criterios ambientales a la hora de decidir un cambio de materias primas o auxiliares?					
EN RELACIÓN A POSIBLES BUENAS PRÁCTICAS					
<i>a) ¿Se contemplan los siguientes puntos de gestión en la cuenca?</i>					
1. ¿Uso de productos con alguna característica ambiental específica (reconocida por la					

concesión de alguna distinción, etc.)?					
2. ¿Minimización de residuos?					
3. ¿Minimización en el consumo de materias primas?					
4. ¿Minimización del consumo energético?					
5. ¿Se lleva a cabo algún tipo de contabilidad ambiental?					
6. ¿Se aplican criterios ambientales en las compras?					
V. DOCUMENTACIÓN					
3. ¿Hay documentación sobre métodos de actuación ambiental en la cuenca?					
4. ¿Hay implementado un sistema de calidad?					
VI. PLANES DE EMERGENCIA Y CAPACIDAD DE RESPUESTA					
7. ¿Se dispone de un sistema documental sobre seguridad e higiene en el trabajo?					
8. ¿Se dispone de algún procedimiento de actuación a llevar a cabo en caso de un incidente o accidente puntual que pueda afectar al medio?					
9. ¿Se dispone de algún plan de emergencia para con el ambiente?					
10. ¿Conocen el peligro de las materias primas que se utilizan, los productos y los desechos?					
11. ¿Se han identificado los riesgos derivados de las					

actividades de la unidad que puedan implicar repercusiones ambientales?					
12 ¿Existen documentos que indiquen cómo actuar en estos casos?					
VII. COMPROBACIÓN Y ACCIÓN CORRECTORA					
<i>a) Seguimiento y medición</i>					
3. ¿Se dispone de un plan de seguimiento de los parámetros relacionados con el proceso productivo?					
4. ¿Se dispone de algún tipo de documentación sobre seguimiento y medición de aspectos ambientales?					
<i>b) No conformidad, acción correctora y acción preventiva</i>					
1. ¿Se mantienen al día procedimientos que definen la responsabilidad ambiental para el control y la investigación de las no-conformidades?					
2. ¿Se han llevado a cabo acciones correctoras y/o preventivas en caminadas a la reducción del impacto producido?					
<i>b) Registros</i>					
¿Existe algún tipo de sistema actual de control de registros ambientales?					
<i>c) Auditorías</i>					

3. ¿Existe algún procedimiento de realización de auditorías donde se incluyan los aspectos ambientales?					
4. ¿Alguna vez se ha realizado una auditoría ambiental en la cuenca?					
VIII. REVISIÓN					
2. ¿Se revisa periódicamente el sistema organizativo ambiental de la cuenca?					
TOTAL					
PUNTAJE POSIBLE					
PORCENTAJE ADQUIRIDO					

