



ESTUDIO Y DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS PARA LA EMPRESA
TUBOS DEL CARIBE S.A.

Villalobo Modera, Alina Margarita
Romero Sabalza, Antonio Carlos

Vega Escaño, Óscar
Director

Universidad Tecnológica de Bolívar
Ingeniería Industrial
Cartagena de Indias
2002

INTRODUCCIÓN

En todos los períodos históricos, las sociedades han afrontado crisis ambientales. Las que no han desarrollado mecanismos físicos y simbólicos para superarlos han desaparecido. Hoy también la sociedad está enfrentada a una honda crisis ambiental que es tan antigua como el hombre mismo variando únicamente su dimensión y escala.

El sueño de progreso interminable destruye la naturaleza y pone en peligro la vida misma. La raza humana tiene el deber de proteger y en el mejor de los casos mejorar las condiciones del medio ambiente para las generaciones presentes y futuras. De la misma forma es un derecho natural y fundamental el disfrutar de la libertad, de la igualdad y de las condiciones de vida adecuadas en un medio de calidad tal que le permita al hombre llevar una vida digna y gozar de bienestar.

Por ello, en todas las sociedades del mundo existen valores normativos que motivan al individuo a la conservación de los recursos naturales en mayor o menor escala. En el caso de Colombia, el desarrollo legal asociado a la protección

ambiental ha sido evidente, de manera que la protección y conservación del medio ambiente es un principio constitucional.

Es así como Cardique como organismo regulador que controla y hace seguimiento del vertimiento de líquidos a los diferentes cuerpos de agua del Norte y Centro de Bolívar por parte de las empresas que en estos lugares ejercen sus actividades productivas, les ha hecho conocer la normatividad vigente que establece presentar un plan de mejoramiento que tienda a disminuir el impacto ambiental generado por sus labores.

Por ello, Tubocaribe ha decidido adelantarse a estas exigencias desarrollando acciones encaminadas a disminuir el impacto ambiental que la empresa genera por el vertimiento de sus residuos orgánicos a los cuerpos de agua de la ciudad por lo que ha decidido optar por el montaje de un sistema de tratamiento de aguas negras a partir del diseño generado por el presente estudio, demostrando así su sentido de compromiso hacia el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.

TUBOS DEL CARIBE S.A. (ver Figura 1), inició operaciones en 1991 como la primera empresa colombiana productora de tubos petroleros bajo licencia del Instituto Americano del Petróleo "API". Esta empresa se establece para abastecer la creciente industria petrolera y gasífera de la región y los mercados de exportación a nivel mundial.



Figura 1. Planta de Tubocaribe

Está ubicada en Cartagena de Indias, una de las ciudades colombianas de mayor desarrollo industrial. Por su avanzada infraestructura, su bahía protegida y su posición geográfica, Cartagena como sede de su planta industrial ofrece a Tubocaribe una localización estratégica de fácil accesibilidad. Localizada sobre la costa caribe colombiana, a una distancia inferior a 300 millas del canal de Panamá, Cartagena permite a Tubocaribe acceso ilimitado por el Atlántico y el Pacífico con los proveedores de acero en todo el mundo, así como a los mercados de exportación mas distantes.

Tubocaribe está localizada en el Parque Industrial Carlos Vélez Pombo (ver Figura 2), con una extensión de 30 Hectáreas (75 acres), cuyas instalaciones se constituyen como una planta de producción de tubos completamente integrada.



Figura 2. Entrada principal a Tubos del Caribe S.A.

Gracias a una distribución de planta versátil y una alta capacidad instalada, Tubocaribe puede producir eficientemente lotes de fabricación grandes o pequeños, manteniendo la más alta calidad y productividad.

En julio de 1995, Tubocaribe construyó una de las más modernas plantas de revestimiento externo del hemisferio occidental, la cual ofrece a la industria aplicaciones de protección contra la corrosión. Su versatilidad permite recubrir con procesos FBE, BICAPA y TRICAPA, y las diferentes opciones del mercado nacional y mundial.

La organización asegura la excelencia en cada producto manufacturado así como en cada uno de los servicios que brinda y por ello en 1996, Bureau Veritas Quality International emitió el certificado ISO 9002 al sistema de aseguramiento de calidad de Tubocaribe.

Dedicada a proveer un servicio eficiente y óptimo a cada nivel de la organización, la empresa cuenta con oficinas y agentes localizados estratégicamente en las regiones productoras de gas y petróleo del mundo, brindando a sus clientes lo mejor en servicio y soporte técnico bajo la filosofía de Calidad Total.

1.1 MISIÓN

Trabajamos en la fabricación de productos de acero destinados en los sectores Petroleros, Gasíferos, Industriales y de Construcción. Brindamos servicios de revestimiento de nuestra tubería de mayor diámetro producidas por otro, todo con el objeto de ofrecer un servicio integral a nuestros clientes, empleados y accionistas, sino también a la comunidad en general.

La excelencia de nuestros productos y de los servicios que prestamos constituyen nuestro pilar fundamental. Para lograrlo, nos regimos por la filosofía de CALIDAD TOTAL Y MEJORAMIENTO CONTINUO, asegurando que nuestros productos y servicios sobrepasen los requisitos y expectativas de nuestros más exigentes clientes, cumpliendo normas y parámetros Nacionales e Internacionales.

El compromiso ineludible de nuestro equipo humano, que con su aptitud y actitud positiva al cambio, se mantiene en permanente evolución implementando tecnologías de vanguardia las cuales nos permiten alcanzar las metas propuestas preservando nuestros valores y principios.

1.2 VISION

Deseamos proyectarnos, desarrollarnos y consolidarnos hacia el futuro como líderes nacionales e internacionales en nuestro campo, creciendo cada día en participación de mercado, capacidad de producción, gama de productos y servicios ofrecidos. Con este desarrollo, esperamos constituirnos en una empresa multinacional, reconocida en la industria por su calidad, cumplimiento, versatilidad, eficacia y competitividad.

El compromiso con nuestros clientes, empleados y con la sociedad en general es ser fuente de soluciones serias y oportunas aportando al mejoramiento de la calidad de vida y cultura de nuestro país.

1.3 VALORES

Los valores de Tubos del Caribe S.A. están enmarcados por principios fundamentales de moralidad, honestidad y ética, los cuales son reflejados permanentemente en nuestras actuaciones.

1.3.1 Compromiso. Los compromisos que se asumen son:

- **Con nosotros mismos:** en la búsqueda constante de la satisfacción personal y profesional por medio de la dedicación, entrega y responsabilidad.
- **Con nuestros clientes:** ofreciéndoles excelentes productos y servicios a precios justos.
- **Con nuestros compañeros:** ofreciéndoles un trato digno, respetuoso y amable.

1.3.2 Confianza. Garantizamos el cabal cumplimiento de nuestras obligaciones, compromisos y ante todo de nuestra palabra.

1.3.3 Responsabilidad. Nos declaramos responsables de nuestros actos desempeñados en el cumplimiento de nuestros compromisos comerciales, técnicos y morales. Nos responsabilizamos de dar nuestro máximo esfuerzo para lograr la excelencia en nuestros productos y servicios.

1.3.4 Respeto. Respetamos las ideas, planteamientos, opiniones y necesidades de nuestros clientes, asesores y colaboradores. Actuamos dentro de un marco de dignidad y respeto en todas nuestras gestiones internas y externas.

1.3.5 Trabajo en equipo. Aplicamos la gestión participativa a nivel operativo integrando así al personal de Tubocaribe. Tenemos en cuenta los aportes de los participantes de cada determinada actividad. Con el propósito de obtener niveles de desempeño superiores.

1.3.6 Comunicación. En Tubocaribe la comunicación es clara, oportuna, constructiva y veraz, su objetivo es permitir un flujo de información ágil, dinámico desde y hacia la Gerencia General sobre el esquema de un estilo de dirección abierta y participativa. Esta se refuerza con acciones de desarrollo de actitudes positivas en toda la familia Tubocaribe.

1.3.7 Puntualidad. Damos respuesta oportuna a la prestación de un servicio tanto al cliente externo como al interno.

1.3.8 Honestidad. Nuestras acciones sinceras y veraces van encaminadas a un trabajo y servicio con calidad, absolutamente confiable en virtud de la idoneidad de los productos que ofrecemos.

1.4 ORGANIZACIÓN

La estructura organizacional (ver anexo A) ha permitido definir claramente la autoridad, jerarquía y responsabilidad a cada nivel de la organización.

1.5 LÍNEA DE PRODUCTOS

Tubocaribe ofrece a la industria petrolera y gasífera una completa línea de productos tubulares y revestimientos externos contra la corrosión para diversas aplicaciones tales como conducción, exploración, producción, refinación de hidrocarburos y construcción de instalaciones industriales.

1.5.1 Casing & Tubing (Tubos de entubación y producción). Tubocaribe produce Casing en diámetros desde 4" hasta 8 5/8" (ver Cuadro 1.) y Tubing

(tubos de producción) en diámetros desde 2 3/8 " hasta 4 1/2 (ver Cuadro 2.) según especificación API ICT, normalizado de costura, normalizado de cuerpo completo, templado y revenido. El Casing y el Tubing se ofrecen en grados de acero API desde J-55 hasta P-110.

cuadro 1. Especificaciones para los tubos de entubación

CASING (TUBOS DE ENTUBACIÓN)				
DIMENSIONES			GRADOS DE ACERO	TERMINADO DE EXTREMOS Y ROSCAS
Diámetro Exterior (pulg)	Peso Nominal (lb/ft)	Longitud rango API		
4 1/2	9.50 a 11.60	1,2,3	H40	BFT ROSCAS API:
5 1/2	14.00 a 17.00		J55 K55	
6 5/8	20.00 a 24.00		N80 L80	
7	17.00 a 26.00		P110	
8 5/8	24.000 a 32.000			

cuadro 2. Especificaciones para los tubos de producción

TUBING (TUBOS DE PRODUCCIÓN)					
DIMENSIONES			GRADOS DE ACERO	EXTREMOS	TERMINADO DE EXTREMO Y ROSCAS
Diámetro exterior(pulg)	Peso nominal (lb/ft)	Longitud rango API			
2 3/8	4.00 a 4.70	1,2	H40	EUE	BFT ROSCAS API: 8RD ROSCAS PREMIUM
2 7/8	6.40 a 6.50		J55 K55	NUE	
3 1/2	7.70 a 10.20		N80 L80		
4 1/2	12.60		P110		

1.5.2 Line Pipe (Tubos de Conducción). En diámetros que van desde 2" hasta 8" según especificaciones API 5L y otras, normalizado de costura y normalizado

de cuerpo completo. Se ofrecen grados de acero API desde A hasta X-80. (ver Cuadro 3).

cuadro 3. Especificaciones para los tubos de conducción

LINE PIPE (TUBOS DE CONDUCCIÓN)						
DIMENSIONES			ESPECIFICACIONES	GRADOS DE ACERO		TERMINADO DE EXTREMOS Y ROSCAS
Diámetro nominal (pulg.)	Diámetro exterior (pulg.)	Peso Nominal (lb/ft)		API	ASTM	
1/2	0.840	0.85	ASTMA53	A25	A	PE BFW BFT
3/4	1.050	1.13 a 1.47		A	B	
1	1.315	1.68 a 2.17		B		
1 1/4	1.660	2.27 a 3.00		X42		
1 1/2	1.900	2.72 a 3.63		X46		
2	2.375	2.03 a 4.39		X52		
2 1/2	2.875	2.47 a 7.01	X56		ROSCAS REQUERIDAS	
3	3.500	3.03 a 9.66	X60			
4	4.500	3.92 a 14.98	X65			
5	5.563	7.26 a 17.50	X70			
6	6.626	8.68 a 23.08	X80			
8	8.625	16.94 a 33.04				

1.5.3 Tubos estructurales. Tubocaribe produce tubos estructurales redondos, cuadrados y rectangulares de alta resistencia según especificación ASTM A500, en longitudes de 6 y 12 metros (20,24 ó 40 pies).

1.5.4 Revestimientos externos. Tubocaribe provee servicios de revestimiento externo en fusion-bonded epoxy (FBE) y tricapa polietileno y polipropileno, para

tubería producida por Tubocaribe o por terceros, en diámetros desde 2 hasta 42 pulgadas.

1.5.5 Otros productos. Tubocaribe produce tubos mecánicos; tubos para calderas e intercambiadores de calor, y otros productos terminados para varios tipos de servicios de acuerdo con las especificaciones internacionales ASTM, DIN, JIS, ANSI/ASME y ISO y UL.

1.6 CLIENTES DE LA EMPRESA

Tubocaribe cuenta con clientes nacionales e internacionales. El 80% de estos son a nivel internacional y sólo un 20% son nacionales.

1.6.1 Clientes nacionales e internacionales. En el Cuadro 4 se muestran los clientes más importantes de Tubocaribe.

cuadro 4. Clientes

CLIENTES	
Nacionales	Internacionales
PROMIGAS	PETROPERÚ (Perú)
	HOCOL (Estados Unidos)
ECOPETROL	DRAÑA MONTERO (Ecuador).
	PDVSA VARIVEN (Venezuela).
PETROQUÍMICA	LONE STAR STILL (Estados Unidos).
	ADBANCE CORPORATION (Estados Unidos)

1

2 2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas, además de las normas reguladoras existentes.

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante un sistema de alcantarillado. En general, las aguas residuales son las aguas que se desprende la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como

de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

El caudal y las características del agua residual a tratar son determinantes a la hora de proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación. De cara a la obtención de un diseño adecuado a las necesidades y a la minimización de los costos, es preciso conocer datos fiables sobre los caudales que se quiere tratar. La estimación de los caudales se lleva a cabo, normalmente, a partir de series históricas o de datos obtenidos en aforos por medición directa o a partir del análisis de los datos de población y dotaciones de aguas previstas, así como a partir de estimaciones de los caudales de agua residual per cápita en poblaciones de características similares.

Es necesario analizar con detenimiento, a partir de los datos disponibles, las características y variaciones de los caudales de aguas residuales pues afecta en gran medida al diseño hidráulico tanto de las redes de alcantarillado como en las instalaciones de tratamiento. Mediante el análisis de los datos de caudales deben obtenerse importantes parámetros, como el caudal medio y el caudal punta.

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. Esta se obtiene a través de métodos analíticos denominados como caracterización del agua residual, mediante el cual se establece la concentración de contaminantes en las respectivas aguas negras. Para ello se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas.

Otra variable no menos importante que las dos anteriores es la de tiempo de vertimiento, la cual se considera como el período de tiempo en el cual se encuentra funcionando la planta.

El caudal, la concentración y tiempo de vertimiento son las variables que indicaran el más loable sistema de tratamiento a emplear y ayudaran de igual forma en el cálculo de la eficiencia del mismo.

2.2 COMPOSICIÓN DE LOS CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

La composición de los caudales de aguas residuales puede incluir los siguientes componentes:

2.2.1 Agua residual doméstica o sanitaria. Son las aguas provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan los compuestos derivados de nuestras necesidades fisiológicas (excrementos humanos, orines, etc.), ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. También proviene del aseo y limpieza diario (baño, ducha, etc.), y de la elaboración de comidas (desperdicios, aceites, detergentes). Este tipo de agua es la que se considerada en este proyecto.

2.2.2 Agua residual industrial. Son las aguas residuales que se originan en procesos industriales. Por lo general, son las más difíciles de depurar porque su composición es muy variable.

2.2.3 Infiltración y aportaciones incontroladas. Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas , o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.

2.2.4 Aguas pluviales. Agua resultante de la escorrentía superficial. Aguas que se recogen al llover. Se forman cuando el agua de lluvia arrastra las partículas del pavimento (polvo, arena, aceites de automóviles, restos vegetales, etc.).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

2.3.1. Características físicas. Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, es decir, la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

2.3.2 Características químicas. El agua residual contiene tanto químicos inorgánicos como orgánicos. Los constituyentes inorgánicos están presentes en el agua transportada y se incrementan a causa del uso del agua. Los constituyentes orgánicos del agua residual pueden ser divididos en carbonatos, proteínas y grasas.

2.3.3 Características biológicas. Por su naturaleza las aguas residuales contienen microorganismos biológicos, y organismos patógenos.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DE TUBOCARIBE

Durante el funcionamiento normal de la Planta de Fabricación de Tubería de Acero, Planta de Revestimiento de Tuberías en Polietileno, Polipropileno, y en Pintura Epóxica, Planta de Roscado, oficinas y demás áreas de apoyo, se generan aguas residuales domésticas provenientes de lavamanos, duchas, sanitarios y cafetería.

cuadro 5. Dispositivos generadores de agua residual

	Áreas	Lavamanos	Sanitarios	Orinales Individuales	Orinales Colectores	Tina
BLOQUE A	Almacén general	1	1	-	-	-
	Enfermería	1	1	1	-	1
	Gerencia	6	5	1	-	-
	Oficinas Planta Tubería	7	7	-	1	-
	Planta de Tubería	3	5	-	1	-
	Portería	1	1	-	-	-
	Recepción	3	3	1	-	-
	Relaciones Industriales	2	2	-	-	-
	Vestier	4	10	5	-	-
BLOQUE B	Oficinas de Almacén de Productos Terminados	2	4	1	1	-
	Taller Automotriz	-	1	-	1	-
BLOQUE C	Planta de Roscado	2	1	1	-	-
BLOQUE D	Planta de Revestimiento	2	6	4	2	-

Las aguas del bloque A mostradas en el Cuadro 5, son recolectadas por una red sanitaria (ver anexo B) y conducidas a la unidad de tratamiento No. 1 compuesta por un tanque séptico de una cámara y un campo de infiltración (ver Figura 3 y 4). Este tanque tiene 4,5 m de largo por 3,5 m de ancho, un alto total de 1,90 m, un alto útil de 1,50 m y está conformado por una tubería de entrada y salida de 6" cada una. La cubierta del tanque está provista de tres tapas que facilitan la operación de limpieza de esta unidad de tratamiento (ver anexo C).



Figura 3. Tanque séptico del sistema de tratamiento No. 1



Figura 4. Campo de infiltración del sistema de tratamiento No. 1

El campo de infiltración está compuesto por una tubería de entrada de 6" que ramifica en 8 tuberías de 4" de 25 m de largo, separadas 2 m entre sí. El efluente pasa por un manto filtrante constituido por grava y arena gruesa que drena finalmente por otra ramificación de 8 tuberías de 4" de 25 m de largo igualmente separadas 2 m (ver anexo D).

El agua regenerada que ha percolado en el terreno es conducida a través de una tubería de 4" que sale del campo de infiltración hasta un registro para luego ser dispuestas a un canal recolector que las transporta finalmente hasta el punto de vertimiento (ver figura 5).



Figura 5. Punto de vertimiento del sistema de tratamiento No. 1.

El bloque B (ver Cuadro 5) trata sus aguas en el sistema de tratamiento No. 2 que consiste en un tanque séptico y un tanque con filtro anaeróbico. El tanque séptico (ver figura 6) tiene una capacidad de 4700 litros y consiste en un tanque de concreto cuya tubería de entrada y salida es de 4", compuesto por dos compartimientos, de 2 m y 1 m de largo respectivamente (ver anexo E).

El tiempo de retención de las aguas domésticas en el tanque es de 3 días, período en el que se efectúa la sedimentación y la formación de natas. El agua intermedia entre el sedimento y la nata se convierte en un líquido clarificado que luego es conducido por rebose del tanque séptico al tanque anaeróbico (ver figura 7).



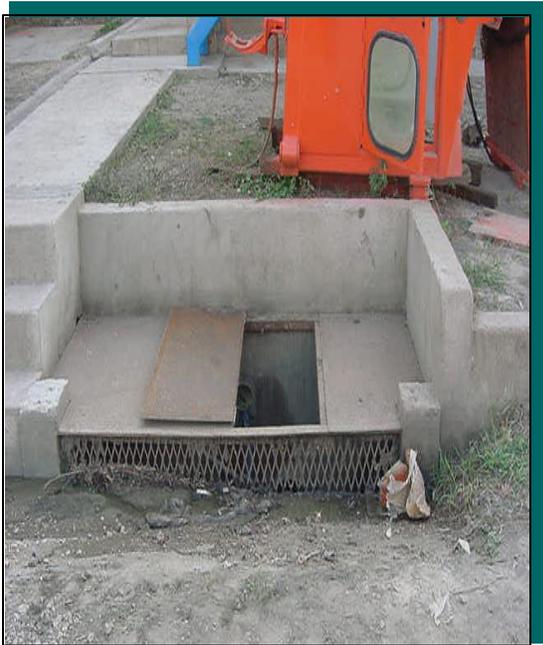
5 **Figura 6. Tanque séptico del sistema de tratamiento No. 2**



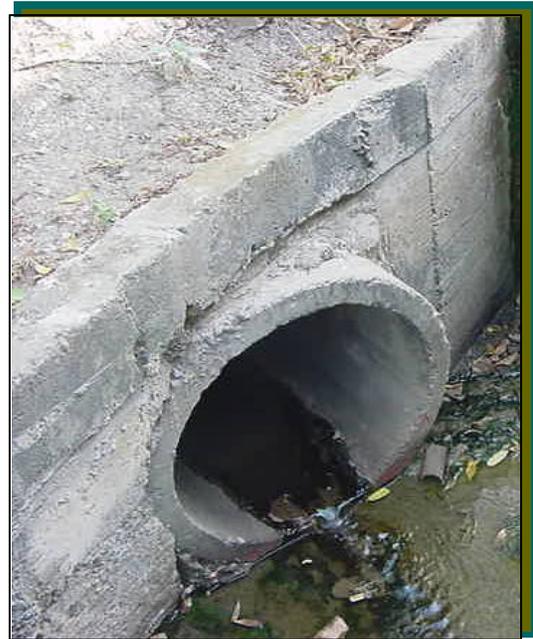
2 **Figura 7. Tanque con filtro anaeróbico del sistema de tratamiento No. 2**

El tanque con filtro anaeróbico está ubicado después del tanque séptico y está dividido en tres compartimientos, el primero de 2 m y el segundo y tercero de 1 m de largo cada uno. El tercer compartimiento es alimentado por el fondo a través de una cámara difusora. El afluente penetra y sube a través de un filtro ascendente, una de las capas con 40 cm de espesor, está formada de gravas pequeñas y otra de 10 cm de espesor compuesta por arenas gruesas y gravas finas, que actúan como filtro. La capacidad del manto filtrante es de 0.75 m³.

El agua que sale del filtro se evacua hacia el imbornal (ver Figura 8) a través de una tubería de 4", para luego ser dirigida a un registro que finalmente envía las aguas al colector (ver Figura 9).



9 Figura 8. Imbornal



6 Figura 9. Punto de vertimiento
7 del sistema de tratamiento
No. 2

Para el bloque C (ver Cuadro 5) sus aguas son conducidas a un sistema similar al del bloque B, con la variante de que sólo se cuenta con un cajón de concreto dividido en dos secciones. La primera corresponde al tanque séptico cuya capacidad es de 1.67 m^3 y la segunda al tanque con filtro anaeróbico con 1.28 de largo, 1.21 de ancho y 1.12 de profundidad (ver Figura 10).



Figura 10. Tanque séptico y filtro anaeróbico sistema de tratamiento No. 3

Esta unidad de tratamiento vierte finalmente sus aguas al canal colector localizado en la parte suroeste de la Planta de Tubocaribe (ver Figura 11)



Figura 11. Punto de vertimiento del sistema de tratamiento No. 3

El bloque D (ver Cuadro 5) dispone sus aguas residuales domésticas al sistema de tratamiento No. 4. compuesto por un tanque séptico (ver Figura 12) y un campo de infiltración (ver Figura 13).



Figura 12. Tanque séptico del sistema de tratamiento No. 4



Figura 13. Campo de infiltración del sistema de tratamiento No. 4

El tanque posee las siguientes dimensiones: 3,50 m de largo por 1,60 m de ancho, un alto total de 2,14 m y un alto útil de 1,84 m.

El campo de infiltración tiene de largo 70 m y de ancho 1,60 m por donde se filtra el agua que luego es vertida a través de un tubo de 4" (ver Figura 14).



Figura 14. Punto de vertimiento del sistema de tratamiento No. 4

Es importante anotar que todos estos sistemas depositan finalmente sus aguas tratadas al colector que rodea a la Planta de Tubocaribe. Este canal se comunica con el llamado colector Simón Bolívar-Princesa que posteriormente envía estas aguas hacia la Ciénaga de la Virgen.

9.1.1.1

9.1.1.2



9.1.1.3

9.1.2 CAPÍTULO 4

9.1.2.1.1 CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE TRATAMIFNTO

4. CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

4.1 CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Un entendimiento de la naturaleza física, química y biológica así como la procedencia de las aguas residuales es esencial en el diseño y operación de los sistemas de tratamiento y por ello las mediciones cuantitativas son las herramientas más importantes para la práctica de la ingeniería.

La caracterización de las aguas residuales es el análisis cuantitativo que tiene como objetivo el determinar el grado de concentración en que se encuentran los parámetros que son de interés para un determinado estudio. Este análisis permite establecer el funcionamiento del sistema de tratamiento y de igual forma establecer el porcentaje de remoción de las cargas de los parámetros analizados.

El carácter del agua residual no es constante en términos de lugar ni de tiempo. Para obtener una caracterización confiable en cuanto a precisión y exactitud se debe desarrollar un cuidadoso proceso de muestreo apoyado en las técnicas que han sido establecidas para tal fin.

4.1.1 Proceso de muestreo. El proceso de muestreo se llevó a cabo teniendo en cuenta las técnicas utilizadas actualmente por la Universidad de Cartagena. Se tuvo la precaución de seguir cada una de sus recomendaciones y sugerencias. Además se contó con la presencia de nuestro asesor Marcos del Río quien con su orientaciones nos guió durante dicho proceso.

4.1.1.1 Marco muestral. Los siguientes son los elementos muestrales identificados para el proceso de muestreo:

- Sistema de tratamiento No. 1 (Tanque Séptico con Campo de Infiltración)
- Sistema de tratamiento No. 2 (Tanque Séptico y filtro anaeróbico)
- Sistema de tratamiento No. 3.(Tanque Séptico con filtro anaeróbico)
- Sistema de tratamiento No. 4 (Tanque Séptico con Campo de Infiltración)

El elemento muestral escogido es el sistema de tratamiento No. 1, por las siguientes razones:

- Este sistema atiende la mayor demanda de aguas residuales domésticas de la empresa, es decir; trata los efluentes provenientes del bloque A, lo que permite obtener valores más representativos en los resultados del estudio. Por lo tanto, estas aguas generan un impacto significativo en la selección y diseño del sistema de tratamiento a proponer.
- El sistema de tratamiento No. 1 es el único que hace parte de la construcción original de Tubocaribe, que opera desde el año 1991 y fue diseñado para una vida útil de 15 años.

4.1.1.2 Población. La población según el elemento muestral escogido es:

Aguas residuales domésticas tratadas por el sistema de tratamiento No.1 de la empresa Tubos del Caribe S. A.

4.1.1.3 Procedimiento de muestreo. En una caracterización de agua residual se recomienda tomar muestras compuestas para obtener una mayor representatividad de las aguas residuales, pues se toman submuestras o alicuotas durante un lapso de tiempo representativo del tiempo total de vertimiento, lo que con una muestra puntual no se lograría.

Una muestra compuesta es aquella que se forma a partir de varias submuestras, las cuales son representaciones parciales de un vertimiento que se produce en un determinado período de tiempo. Una vez unidas y homogeneizadas reflejan el contenido más cercano al vertimiento real.

Durante el estudio se realizaron tomas de muestras compuestas a la entrada y salida del sistema de tratamiento, que se tomaron y preservaron de la siguiente manera:

En un balde de 12 litros se depositaron 8 submuestras de 1.25 litros cada una, para un volumen total de 10 litros durante el muestreo . El balde estuvo sometido a refrigeración con hielo durante cada jornada de muestreo.

Una vez terminada la toma de muestra, se procedió a homogenizarla tratando en lo posible de no involucrar burbujas de aire a las muestras y luego en una botella de 1 litro se tomó una muestra para analizar los parámetros DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), pH, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos sedimentables.

Se decidió por un volumen total durante el período de muestreo de 10 litros para que la muestra fuese lo más real posible al contenido de las aguas residuales de la empresa y el lapso de tiempo transcurrido entre la toma de una sub-muestra y otra fue de 1 hora, lo que indica que se utilizó un procedimiento de muestreo sistemático con un tiempo entre toma de muestra $K = 1$ hora, esto para abarcar los diferentes intervalos durante el tiempo total de muestreo .

Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se tomaron sub-muestras de 250 ml para un total de 2 litros preservados con H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico). Una vez se obtuvo este volumen durante el período de muestreo se transvasó a un frasco de 1 litro.

En cuanto al análisis de coliformes fecales y totales se tomó una muestra puntual en un recipiente esterilizado previamente y preservado con edta, destapado

únicamente en el sitio correspondiente a la zona de muestreo, con el fin de evitar una posible contaminación.

La temperatura fue medida cada vez que se realizó la toma de una submuestra, y la temperatura obtenida para la caracterización es el promedio aritmético simple de estos datos (ver anexo F).

Este procedimiento de toma de muestra se realizó durante tres días, independientemente para cada punto de muestreo (entrada y salida).

4.1.2 Parámetros de calidad del agua. A continuación se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos practicados a las muestras de aguas domésticas, tomadas a la entrada y salida de los puntos de aforo (ver cuadro 6). Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena (ver anexo G), Los parámetros medidos corresponden a los análisis mínimos exigidos por la normatividad del Ministerio del Medio Ambiente en el Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 (ver anexo H).

cuadro 6. Resultados análisis fisicoquímicos

PARÁMETROS	DÍA 1		DÍA 2		DÍA 3	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
pH, Unidades	8,06	7,95	8,05	7,9	8,01	8
Temperatura	29.7	28.1	30	28.6	28.9	28,2
DQO, mg/L	1.115,20	111,5	1.110	143,2	1.108	118,1
DBO ₅ , mg/L	790	100	800	78	785	90,2
Nitrogeno Total (NKT), mg/L	16,1	13,7	17	14,3	16,8	14
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	90	124	100	116	95	130
Sólidos Sedimentables, mL/L	0,1	NIL	0,2	0,1	0,1	NIL
Coliformes Totales 100 ml	43.000	38.000	44.000	37.000	45.000	39.000
Coliformes Fecales 100 ml	42.000	37.000	43.000	36.000	41.000	38.000

NIL (Niveles muy bajos no identificados por la técnica) = < 0.1 ml/L

Para realizar el análisis completo del funcionamiento del sistema de tratamiento se hace necesario determinar el caudal de las aguas residuales, el cual se muestra en la siguiente sección.

4.2. ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DEL CAUDAL DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

La determinación del caudal de agua residual doméstica a eliminar de una comunidad es esencial para llevar acabo el proyecto de tratamiento de aguas residuales. Para ello, es importante establecer las variaciones reales que sufren dichos caudales si se desean obtener una adecuadas instalaciones.

La determinación del caudal se realiza con base en datos estadísticos, ya sea haciendo uso de las tablas para cálculo de caudal, las cuales muestran los valores típicos de caudal para una determinada industria ó por medición de caudales.

En la práctica el caudal para proyectos de tratamiento se determina por lo general a través de tablas, aumentándolo o disminuyéndolo según las consideraciones del encargado del proyecto, apoyado en sus observaciones y experiencia.

Para éste proyecto se aplican las dos formas de cálculo de caudal, pues además de obtener esta variable de diseño se quiere mostrar la situación particular de Tubocaribe con respecto a los estándares de la industria en cuanto a la generación de aguas residuales domésticas. Esto permitirá a la empresa tomar decisiones y adoptar los mecanismos de control necesarios para mejorar en cuanto a la utilización del recurso hídrico, lo que posiblemente puede beneficiar en un principio la situación de costos actual y futura por concepto de gastos en servicios públicos (agua) , y posteriormente en el cambio hacia una actitud positiva referida al ahorro y cuidado de los recursos naturales, lo que ayudará a enriquecer la cultura organizacional de la empresa.

Ahora bien, de cara al diseño de un sistema de tratamiento se hace necesario obtener un caudal de diseño basado en la población actual y las predicciones de la población futura, siempre y cuando sea posible obtener un pronóstico de ésta con un nivel de confianza aceptable.

4.2.1 Cálculo de los caudal actuales. Las tablas de comportamiento típico de caudales y la medición directa serán las herramientas utilizadas para el cálculo del caudal medio actual.

4.2.1.1. Cálculo del caudal medio por tablas. La tabla 1, que se muestra a continuación presenta datos que se pueden utilizar para estimar los caudales medios de diferentes establecimientos comerciales.

Cabe aclarar que estas guías deben usarse con un criterio acertado, ya que por una parte, los valores pueden cambiar de industria a industria de acuerdo a los procesos que en ellas se desarrollen y con la tecnología utilizada y, por otra lado estos valores son independientes del número de habitantes de la población.

Tabla 1. Caudales de aguas residuales típicos.

Fuente	Unidad	Caudal (L / unidad *día)	
		Intervalo	Valor típico
Aeropuerto	Pasajero	8 - 15	11
Estación de servicio	Coche servicio	25 - 50	40
	Empleado	35 - 55	45
Bar	Cliente	5 - 20	10
	Empleado	40 - 60	50
Grandes almacenes	Lavado	1.500 - 2.250	1.900
	Empleado	30 - 45	40
Hotel	Cliente	150 - 210	180
	Empleado	25 - 50	40
Edificio industrial (sólo aguas sanitarias)	Empleado	25 - 60	50
Lavandaria	Lavadora	1.700 - 2.500	2.100
	Lavado	170 - 210	190
Oficina	Empleado	25 - 60	50
Restaurante	Comida	8 - 15	10
Centro Comercial	Aparcamiento	4 - 8	8
	Empleado	25 - 50	40

Fuente. METCALF & EDDY, Ingeniería de aguas residuales, pag.31.

De acuerdo a la tabla las instalaciones de Tubocaribe corresponden a lo que se denomina edificio industrial, en el que un empleado genera diariamente 50 litros de aguas domésticas aproximadamente.

Sin embargo, debido a las variaciones que sufre este valor estándar es recomendable determinar la generación de las aguas residuales domésticas de la empresa en la localidad, por medio de encuestas directas.

4.2.1.2 Cálculo del caudal medio por medición directa. La medición de la cantidad de aguas residuales es indispensable para determinar las variaciones reales de caudal. Existen dos métodos esenciales para medición de caudal; por descarga directa y por velocidad-área.

Para este caso fue utilizado el de descarga directa que consiste en relacionar la descarga con una o dos variables fácilmente medibles. Por lo general se construyen curvas que relacionen el caudal con una variable.

El método de descarga directa posee a la vez diferentes formas de medición de caudales, entre ellas tenemos medición por pasaje directo, en orificios, por canaletas venturi y volumétrica, entre otras. La medición volumétrica directa es específicamente el método empleado y consiste en medir el volumen de fluido descargado en un intervalo de tiempo.

Las curvas de caudal se construyen a partir de los datos obtenidos en la medición directa y reflejan el comportamiento que el caudal sufre a lo largo de un período de tiempo, que por lo general corresponde a la jornada laboral.

Los días de muestreo se escogieron teniendo en cuenta que el ritmo de producción o de trabajo fuese representativo.

El elemento muestral escogido para la medición corresponde al registro inmediatamente anterior al tanque séptico del sistema de tratamiento No. 1 (ver Figura 15), por las razones enunciadas en secciones anteriores.



Figura 15. Elemento muestral para la medición de caudal

La datos se obtuvieron en forma sistemática. Se muestreó cada media hora a partir de las ocho de la mañana hasta las seis de la tarde, tomando el tiempo que tardaba en llenarse el registro hasta una altura de 20 cm, para un volumen de llenado de 60 litros (ver Figura 16).

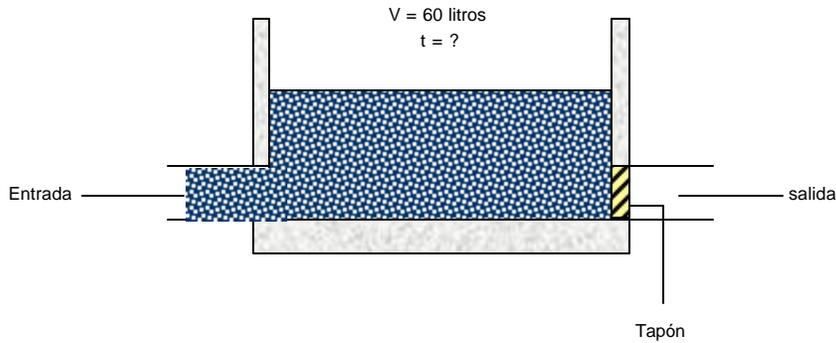


Figura 16. Relación de las variables volumen y tiempo de llenado

Teniendo entonces el tiempo y volumen de llenado se calculó el caudal periódico o instantáneo para intervalos de media hora, como se muestra a continuación:

$$\text{Caudal periódico} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{60 \text{ litros}}{9.54 \text{ min} \cdot 60 \text{ seg}} = 0.105 \text{ litros/seg.}$$

La Tabla 2 muestra los caudales periódicos obtenidos para cada intervalo durante los cinco días de muestreo. Además la Figura 17 representa gráficamente el comportamiento de dichos caudales.

A partir de las curvas obtenidas se construye la curva típica de caudal para el sistema de tratamiento en cuestión que además permite observar el valor punta (ver Figura 18).

Tabla 2. Datos de caudales periódicos obtenidos durante el proceso de muestreo

	27 de Febrero			28 de Febrero			6 de Marzo		7 de Marzo		8 de Marzo	
	HORA	Tiempo (min)	Caudal (L/seg)	Tiempo (min)	Caudal (L/seg)	Tiempo (min)	Caudal (L/seg)	Tiempo (min)	Caudal (L/seg)	Tiempo (min)	Caudal (L/seg)	
1	8:00 - 8:30	9,54	0,105	9,2	0,109	10	0,10	9,27	0,108	9,10	0,110	
2	8:30 - 9:00	9,28	0,108	9,48	0,105	8,05	0,124	9,56	0,105	7,50	0,133	
3	9:00 - 9:30	10,4	0,096	9,34	0,107	9,03	0,111	8,57	0,117	6,34	0,158	
4	9:30 - 10:00	7,3	0,137	8,05	0,124	7,50	0,133	8,02	0,125	6,33	0,158	
5	10:00 - 10:30	8,29	0,121	7,12	0,140	7,33	0,136	7,22	0,139	6,33	0,158	
6	10:30 - 11:00	7,56	0,132	7,58	0,132	8,32	0,120	7,09	0,141	7,54	0,133	
7	11:00 - 11:30	9,34	0,107	7,57	0,132	8,20	0,122	6,45	0,155	9,38	0,107	
8	11:30 - 12:00	6,48	0,154	7,43	0,135	5,42	0,185	9,21	0,109	5,16	0,194	
9	12:00 - 12:30	9,02	0,111	8,05	0,124	10,25	0,098	6,23	0,161	9,27	0,108	
10	12:30 - 1:00	5,15	0,194	6,58	0,152	4,34	0,230	6,04	0,166	5,21	0,192	
11	1:00 - 1:30	5,1	0,196	5,07	0,197	6,48	0,154	5,25	0,190	5,36	0,187	
12	1:30 - 2:00	6,47	0,155	7,06	0,142	4,59	0,218	4,42	0,226	5,40	0,185	
13	2:00 - 2:30	3,15	0,317	2,52	0,397	5,48	0,182	5,51	0,181	4,41	0,227	
14	2:30 - 3:00	3,25	0,308	3,04	0,329	5,38	0,186	7,09	0,141	4,34	0,230	
15	3:00 - 3:30	7,46	0,134	6,8	0,147	7,01	0,143	5,47	0,183	6,27	0,159	
16	3:30 - 4:00	5,57	0,180	6,39	0,156	5,51	0,181	8,27	0,121	5,56	0,180	
17	4:00 - 4:30	9,06	0,110	9,14	0,109	9,26	0,108	7,14	0,140	8,50	0,118	
18	4:30 - 5:00	5,48	0,182	6	0,167	5,46	0,183	5,10	0,196	7,00	0,143	
19	5:00 - 5:30	5,32	0,188	4,34	0,230	5,29	0,189	5,59	0,179	5,07	0,197	
20	5:30 - 6:00	5,1	0,196	6,39	0,156	5,29	0,189	7,07	0,141	6,25	0,160	

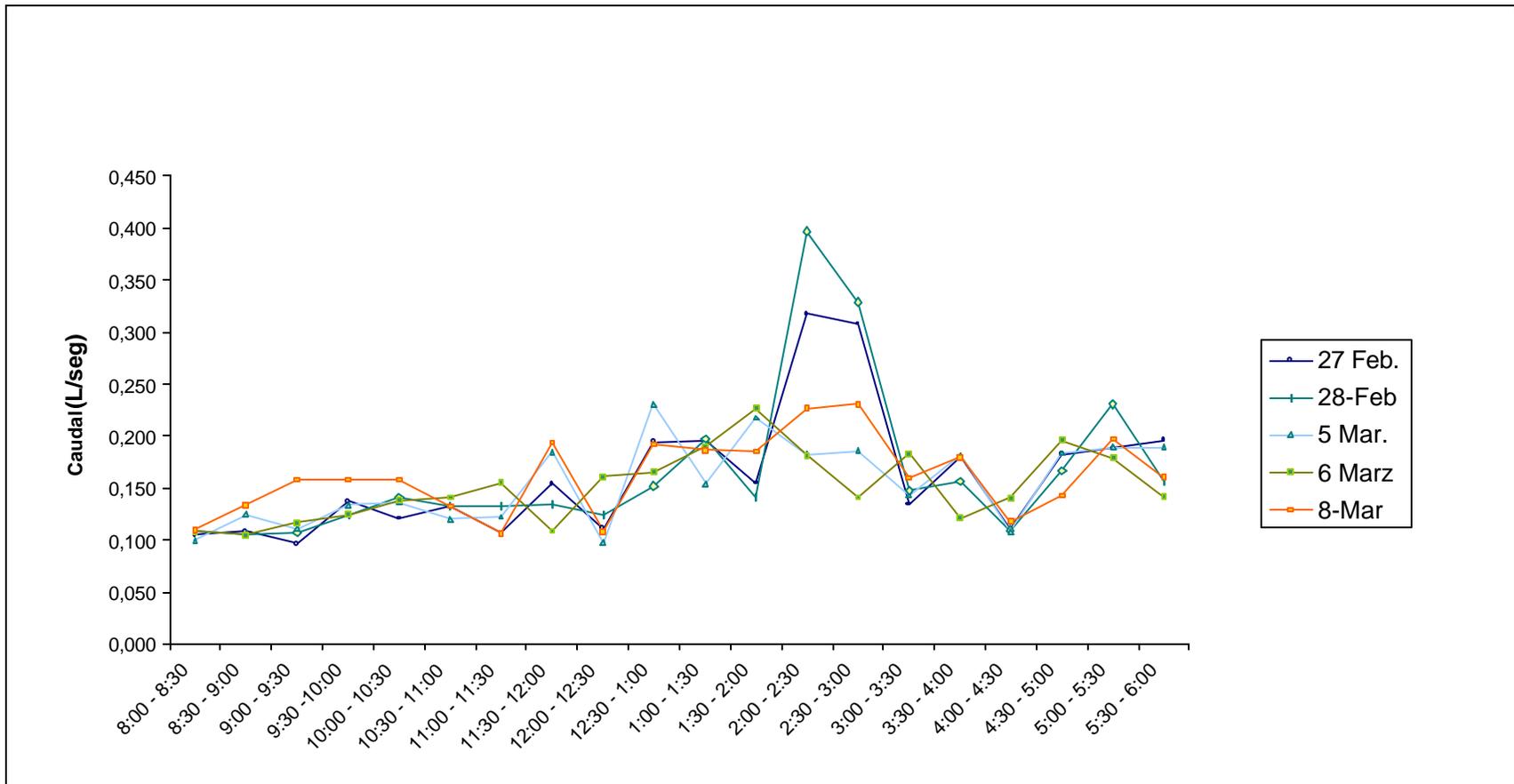


Figura 17. Variaciones de caudal durante los días de muestreo

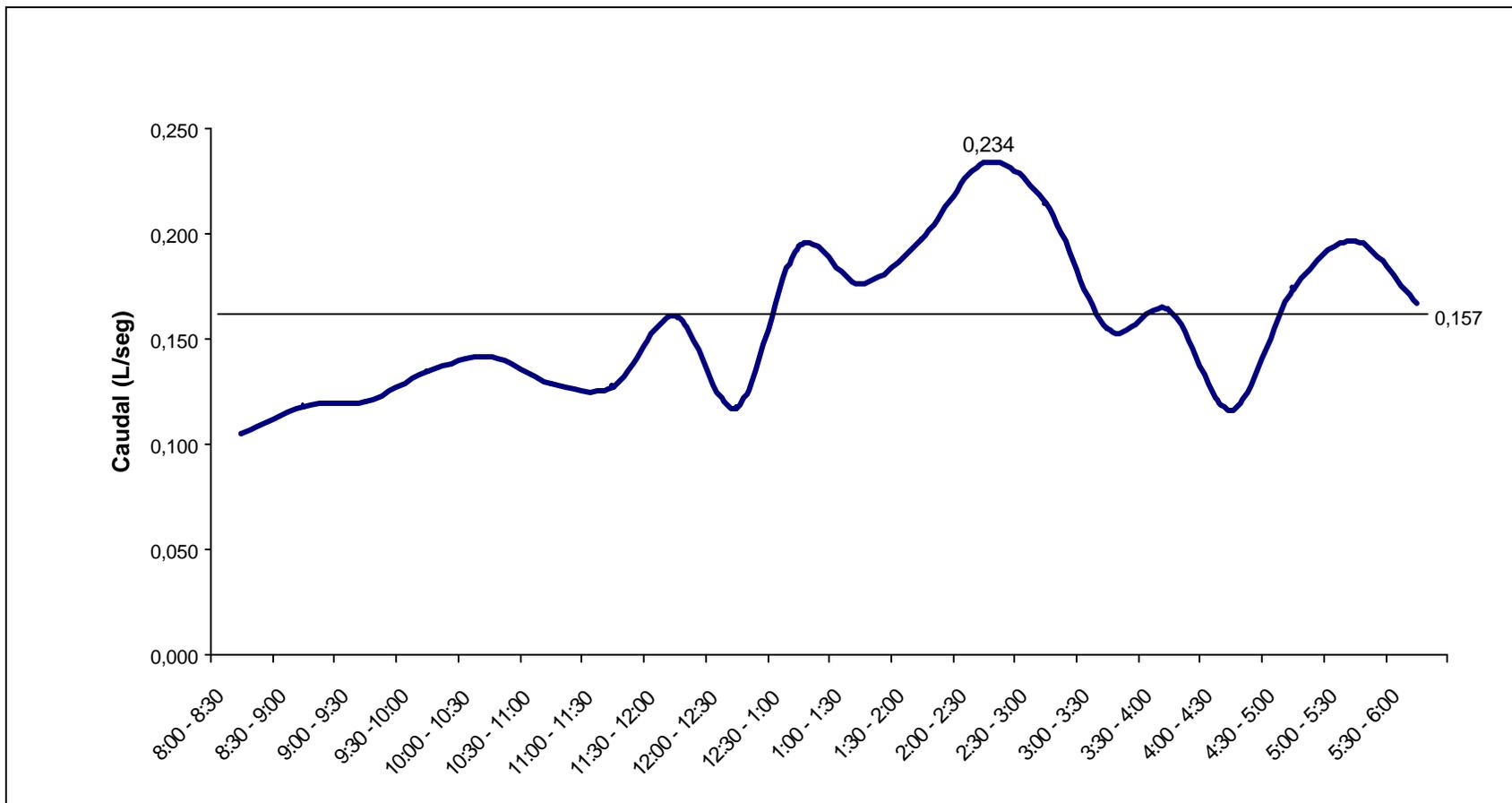


Figura 18. Variación horaria típica del caudal de agua residual doméstica

Los caudales de agua residual doméstica siguen el patrón de comportamiento mostrados en la gráfica anterior. Durante las primeras horas de la mañana son mínimos los caudales registrados puesto que la mayoría de los trabajadores han realizado sus necesidades fisiológicas en sus hogares.

El primer pico se alcanza en la últimas horas de la mañana que corresponde al tiempo en que el personal se prepara a almorzar.

De igual forma al terminar el almuerzo se presenta un segundo pico que muestra un mayor aumento de la generación de aguas residuales domésticas.

La punta se alcanza de dos a tres de la tarde tiempo que coincide con el cambio de turno de seis de la mañana a dos de la tarde con el de dos de la tarde a diez de la noche.

El último pico se alcanza en las últimas horas de la tarde que corresponde a la salida del personal que labora de siete de la mañana a cinco de la tarde.

Ahora bien, a partir del caudal medio obtenido se calcula el caudal diario generado por el sistema de tratamiento No. 1 y con base en éste dato se obtiene el caudal diario por trabajador, que corresponde a la cantidad de aguas residuales domésticas generadas por un trabajador de Tubocaribe que aporta aguas residuales domésticas a dicho sistema.

$$\text{Caudal diario sistema de tratamiento No.1} = (0.157 \text{ litros / seg}) \times 36000$$

$$\text{Caudal diario sistema de tratamiento No.1} = 5.652 \text{ litros / día}$$

$$\text{Caudal diario por trabajador (litros / hab - día)} = \frac{\text{Caudal}}{\text{No. trabajadores}}$$

El número de trabajadores se obtiene por el método de población equivalente. La población equivalente se define como la relación de la cantidad de sólidos en suspensión y materia putrescible (expresados en términos de DBO), originada por una industria determinada y las cantidades “per cápita” de las mismas sustancias que se encuentran normalmente en las aguas residuales domésticas.

El número de trabajadores equivalentes del bloque A que descargan 0.157 L /s de desechos con una DBO₅ de 800 mg/l es:

$$\text{Número de trabajadores} = \frac{0.157 \frac{l}{s} \times 800 \frac{mg}{l} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{36000}{1día}}{45 \frac{g}{día \times hab}} = 100,48 \approx 101$$

Se asume que la producción de DBO₅ de una persona es de 45 g/día.

Entonces:

$$\text{Cantidad per cápita} = \frac{\text{Caudal}}{\text{No.trabajadores}} = \frac{5.622 \text{Litros}}{101 \text{hab}} = 55,96 \approx 56 \text{ litros / hab - día}$$

Por lo anterior, los trabajadores de Tubocaribe usuarios del sistema de tratamiento No. 1. generan un promedio de 56 litros por día de aguas residuales domésticas.

Teniendo este valor, podemos calcular el caudal de agua residual doméstica generado por el total de trabajadores de la empresa.

$$\text{Caudal diario} = (\text{No. Total de empleados} / \text{día laboral}) (\text{Caudal diario} / \text{trabajador})$$

$$\text{Caudal diario} = 717 * 56 \text{ litros} / \text{día}$$

$$\text{Caudal diario} = 40.152 \text{ litros} / \text{día}$$

$$\text{Caudal diario} = 40,2 \text{ m}^3 / \text{día}$$

4.2.2 Proyección del caudal a 15 años. Recientemente la empresa ha culminado el proceso de ampliación de sus instalaciones físicas, lo que la posesiona como el establecimiento comercial con más territorio en el Parque Industrial Carlos Vélez Pombo.

Dentro de los proyectos a largo plazo no se contempla la posibilidad de una nueva expansión territorial, debido a que se piensa recuperar el cuantioso capital invertido en la expansión y mejorar en otros aspectos. Además, los terrenos disponibles para expansión en esta zona están limitados en su mayoría por invasiones aledañas a la empresa, lo que restringiría en un momento determinado una expansión en la misma localidad.

Lo anterior indica que pronosticar el caudal a través del método que relaciona la generación de aguas residuales domésticas con las hectáreas que posee la empresa no se puede utilizar para proyectar el caudal, pues la proyección por este método es cero, debido a que no habrá en un futuro (horizonte de tiempo de 15 años) aumento de los terrenos pertenecientes a la empresa.

Por otro lado, se puede pronosticar el caudal futuro con base a la proyección de la fuerza de trabajo. Sin embargo, dada la situación tan cambiante del mercado es difícil establecer la fuerza de trabajo a utilizar dentro de 15 años.

Para proyectar la fuerza de trabajo a través de cualquier método estadístico se necesita alimentar con datos históricos, los cuales muestran las etapas del crecimiento acelerado que ha tenido Tubocaribe durante los últimos años, esto ocasionará que las proyecciones sigan un patrón de crecimiento de la población, arrojando valores inconsistentes pues la tendencia clara y marcada en el último mes (marzo), es a disminuir la fuerza laboral, pues la lucha por ser competitivos en un mercado globalizado así lo exige.

Por lo tanto, establecer en cuanto piensan disminuir la fuerza laboral es un dato que no estamos en condiciones de determinar. Siendo así, la mayor cantidad de

agua residual doméstica que se obtendrá en el futuro se genera actualmente, por lo que si se utilizan los datos actuales para el diseño del sistema de tratamiento se estarían contemplando en el diseño los caudales más elevados durante los próximos 15 años.

Ahora bien, entre el caudal medio y el caudal punta, se escoge este último para realizar el diseño del sistema de tratamiento pues la generación de agua residual doméstica es menor de $50 \text{ m}^3 / \text{día}$ que corresponde a lo que se le denominan pequeños sistemas de tratamiento. Este caudal proporciona las condiciones económicas y de seguridad más razonables, según los parámetros que se manejan en el diseño.

9.1.2.2

9.1.2.3



9.1.2.4

9.1.3 CAPÍTULO 5

9.1.3.1.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

9.1.3.1.2 ACTUAL DEL SISTEMA DE

TRATAMIENTO

5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

5.1 EVALUACIÓN DE LAS CARGAS CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Las cargas contaminantes originadas por los constituyentes del agua se expresan, normalmente, en Kg/día y pueden calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Carga contaminante, Kg/día} = \frac{(\text{concentración, mg/L}) (\text{caudal L/seg})}{10^6 \text{ mg/Kg}} \times (86400 \text{ seg/día})$$

El sistema de tratamiento No. 1 presenta una carga a la entrada de 14,95 Kg/día y a la salida con 1,63 Kg/día de DQO (Demanda Química de Oxígeno), para una remoción del 89%.

El parámetro DBO_5 tiene a la entrada del sistema una carga de 10,7 Kg/día y a la salida 1,2 Kg/día, con una remoción del 88.8%.

Con respecto al Nitrógeno Total (NKT) registra como carga 0,22 Kg/día a la entrada y 0,19 Kg/día a la salida del sistema, con una remoción del 13.6%.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) tienen un comportamiento contrario a los anteriores, pues en la entrada del sistema tienen una carga de 1,28 Kg/día y a la salida 1,66 Kg/día, es decir, presenta una remoción negativa del 29.7% lo cual indica que el sistema está aportando carga al medio.

Como se puede observar el sistema de tratamiento muestra remociones mayores al 85%, lo cual indica que la materia orgánica es degradada.

Por otro lado, con relación a los coliformes no existe una disminución significativa de éstos a la salida con respecto a la entrada, es decir, el sistema no trata eficientemente los coliformes fecales y totales, lo que indica la presencia de organismos patógenos causantes de enfermedades del aparato intestinal.

5.2 NORMATIVIDAD DE VERTIMIENTO vs. RESULTADOS

A continuación se muestra en el Cuadro 7 la comparación entre los estándares de calidad del agua residual doméstica exigidos por la normatividad del Ministerio del medio Ambiente y los resultados obtenidos en el presente estudio.

cuadro 7. Normatividad vs. Resultados

Referencia	NORMA	EMPRESA
PH	5 a 9 unidades	7,95
Temperatura	< 40°C	28,3
Material flotante	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	-29.7% Remoción Negativa
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción = 88.8% en carga

Fuente. Cardique (Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique).

Los resultados obtenidos muestran que el sistema de tratamiento no cumple con la normatividad vigente (parámetro de Sólidos Suspendidos Totales). Esta no conformidad debe ser superada, a través del sistema de tratamiento de agua residual doméstica a proponer.

5.3 GENERACIÓN PER CÁPITA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA vs. ESTÁNDARES DE LA INDUSTRIA

La generación de aguas residuales domésticas de un trabajador de Tubocaribe es de 56 L/hab-día, lo que los ubica hacia el límite superior del rango de generación para la industria como se muestra en el Cuadro 8.

cuadro 8. Caudal per cápita estándar Vs Caudal Tubocaribe

Fuente	Unidad	Caudal (L / unidad *día)		
		Intervalo	Valor típico	Valor Empresa
Edificio industrial (sólo aguas sanitarias)	Empleado	25 - 60	50	56

Dada la importancia del ahorro tanto de recursos como de energía, los procesos que pueden llevar a la reducción tanto de los caudales de aguas residuales domésticas como la carga contaminante de la misma están ganando interés. La disminución de los caudales de agua residual depende directamente de la reducción en el consumo interior del agua a través de dispositivos reductores y de la concientización en la racionalización del recurso hídrico.

Actualmente Tubocaribe no ha hecho uso de estas herramientas para disminuir su consumo interno de agua, pues la falta de conocimiento de su situación real no les ha permitido tomar las decisiones correspondientes para mejorar en este sentido. Sin embargo es conveniente anotar la actitud positiva de la empresa para encaminar sus proyectos con el fin de alinearla con las políticas ambientales.

9.1.3.2

9.1.3.3



9.1.3.4

9.1.4 CAPÍTULO 6

9.1.4.1.1 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

6. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Hace muchos años cuando las poblaciones y asentamientos industriales estaban muy dispersos, la naturaleza por medio de sus ríos y lagos se encargaba de transformar la materia orgánica (DBO) que se descargaba a sus aguas sin que la reducción del contenido de oxígeno en éstas fuera notoria.

A medida que las poblaciones fueron creciendo, y por consiguiente la cantidad de aguas residuales, las corrientes de agua ya no fueron capaces de tratar la gran cantidad de desechos que estaban recibiendo y la humanidad se dio cuenta que era necesario ayudar a la naturaleza en el proceso de purificación de las aguas residuales. Así se empezaron a desarrollar métodos simples para remover sustancias flotantes, SS, DBO, etc., y hoy en día se continúan desarrollando y perfeccionando otros que

permiten remover sustancias que de un modo u otro afectan la calidad de las aguas receptoras.

Todas estas técnicas modernas hacen usos de teorías avanzadas, algunas de las cuales todavía no han sido muy perfeccionadas, pero que combinadas con aquellas convencionales representan una solución efectiva para la protección de los recursos hídricos que cada vez se ven más amenazados por la creciente cantidad de aguas residuales que deben asimilar.

En la siguiente sección se mencionan los métodos de tratamiento del agua residual, cuya combinaciones sirven de base para el diseño de cualquier sistema de tratamiento.

6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos físicos, químicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en

operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

6.1.1 Operaciones físicas unitarias. Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerza físicas se conocen como operaciones físicas unitarias. Puesto que la mayoría de estos métodos han evolucionado directamente a partir de las primeras observaciones de la naturaleza por parte del hombre, fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales.

Las operaciones físicas unitarias más comúnmente empleadas en el tratamiento de aguas residuales se muestran en el Cuadro 9.

cuadro 9. Aplicaciones de las operaciones físicas unitarias en el tratamiento de aguas residuales

Operación	Aplicación
Medición del caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descargas.
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie).
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme.
Homogenización del Caudal	Homogenización del caudal de las cargas DBO y de sólidos en suspensión.
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión.
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesado de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua.
Filtración	Eliminación de sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración. También la eliminación de las algas de los efluentes de las lagunas de estabilización.
Transferencia de Gases	Adición y eliminación de gases.
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.

Fuente. METCALF & EDDY, Ingeniería de aguas residuales, pag.223.

6.1.2 Procesos químicos unitarios. **Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos**

químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios.

En el Cuadro 10 se resumen los procesos químicos unitarios, así como sus principales aplicaciones y el uso de diversos productos químicos empleados para mejorar los resultados de otros procesos y operaciones.

cuadro 10. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento del agua residual

Operación	Aplicación
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. También se emplea para declorar el agua residual antes de su vertido final.
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más utilizado.
Decloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración.
Desinfección con dióxido de cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con cloruro de bromo	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con ozono	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con luz ultravioleta	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Otros	Para alcanzar los objetivos específicos en el tratamiento de las aguas residuales, se pueden emplear otros compuestos químicos.

Fuente. METCALF & EDDY, Ingeniería de aguas residuales, pag.344.

6.1.3 Procesos biológicos unitarios. Los procesos biológicos en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como

procesos biológicos unitarios. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan de la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar el nitrógeno contenido en el agua residual. Mediante un adecuado control del medio, el agua residual se puede tratar biológicamente en la mayoría de los casos.

Ahora bien, por las razones antes mencionadas y teniendo en cuenta que las aguas a las que se refiere el presente proyecto son residuales domésticas, el sistema de tratamiento adecuado a proponer en el estudio debe ser con base a un proceso biológico.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La combinación de procesos y/o operaciones unitarias dan origen a los sistemas de tratamiento, los cuales tradicionalmente se han dividido en: sistemas de pretratamiento, primarios, secundarios y avanzados.

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

En general se pueden considerar como pretratamiento las rejillas, rejillas, trituradores, desarenadores, lavadores de arena, tanque de preaireación, tanques de flotación, tanques de regulación, entre otros.

6.2.2 Tratamiento primario de las aguas residuales. En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una alta demanda bioquímica de oxígeno.

6.2.3 Tratamiento secundario. El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos

normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación.

6.2.4 Tratamiento avanzado. El término “tratamiento avanzado” se define como el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación, y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales para las cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede ser el caso del agua empleada para refrigeración industrial.

6.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE MAYOR APLICABILIDAD

Los estudios de tratabilidad pueden ser tan amplios y completos como se quiera, pero el rango de posibilidades debe ser restringido a una u dos alternativas, ya que pueden volverse estudios muy prolongados y por ende demasiado costosos. Se han desarrollado índices que guían al evaluador en la tarea de seleccionar el sistema de tratamiento más adecuado a sus necesidades.

De acuerdo a la biodegradabilidad de un agua residual, determinada como el índice que relaciona la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se deduce fácilmente si la sustancia a depurar es de origen doméstico o industrial y de igual forma establecer el proceso de tratamiento adecuado para tratar dichas aguas ¹.

Así se tiene:

a.

$$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,4$$

Es biodegradable, se puede utilizar sistemas biológicos por fangos activados o filtros percoladores.

b.

$$0,2 \leq \frac{DBO_5}{DQO} < 0,4$$

¹Depuración de Aguas Residuales, Angel García Delafuente. Pág. 98

Es biodegradable siendo recomendable el sistema de filtros percoladores.

C.

$$\frac{DBO}{DQO} < 0,2$$

No es biodegradable o poco biodegradable, no es adecuado utilizar métodos biológicos. Es conveniente recurrir a procesos químicos.

Con base en lo anterior las alternativas de tratamiento para el estudio se restringen a sistemas biológicos, más específicamente a lodos activados o filtros percoladores, debido a que la relación DQO / DBO₅ es mayor que 0,4 como se muestra a continuación:

$$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,4 \rightarrow \frac{791,67}{1107,7} > 0,4 \rightarrow 0,72 > 0,4$$

6.3.1 Lodos activados. **El sistema de tratamiento de aguas residuales conocido como “lodos activados” tiene su inicio científico a partir de los experimentos llevados a cabo en la estación experimental de Lawrence en el estado de Massachussets por H.W Clarke en 1912, los cuales fueron subsecuentemente refinados por Edward Arden y**

William Lockett en la planta de tratamiento de Davyhulme en Manchester, Inglaterra en 1914.

A partir de esta fecha el proceso siempre ha sido el mismo: degradar la materia orgánica de un desecho en la presencia de un cultivo de microorganismos adaptados a tal sustrato.

De ahí viene el nombre dado a la biomasa presente en el licor mixto: lodos activados.

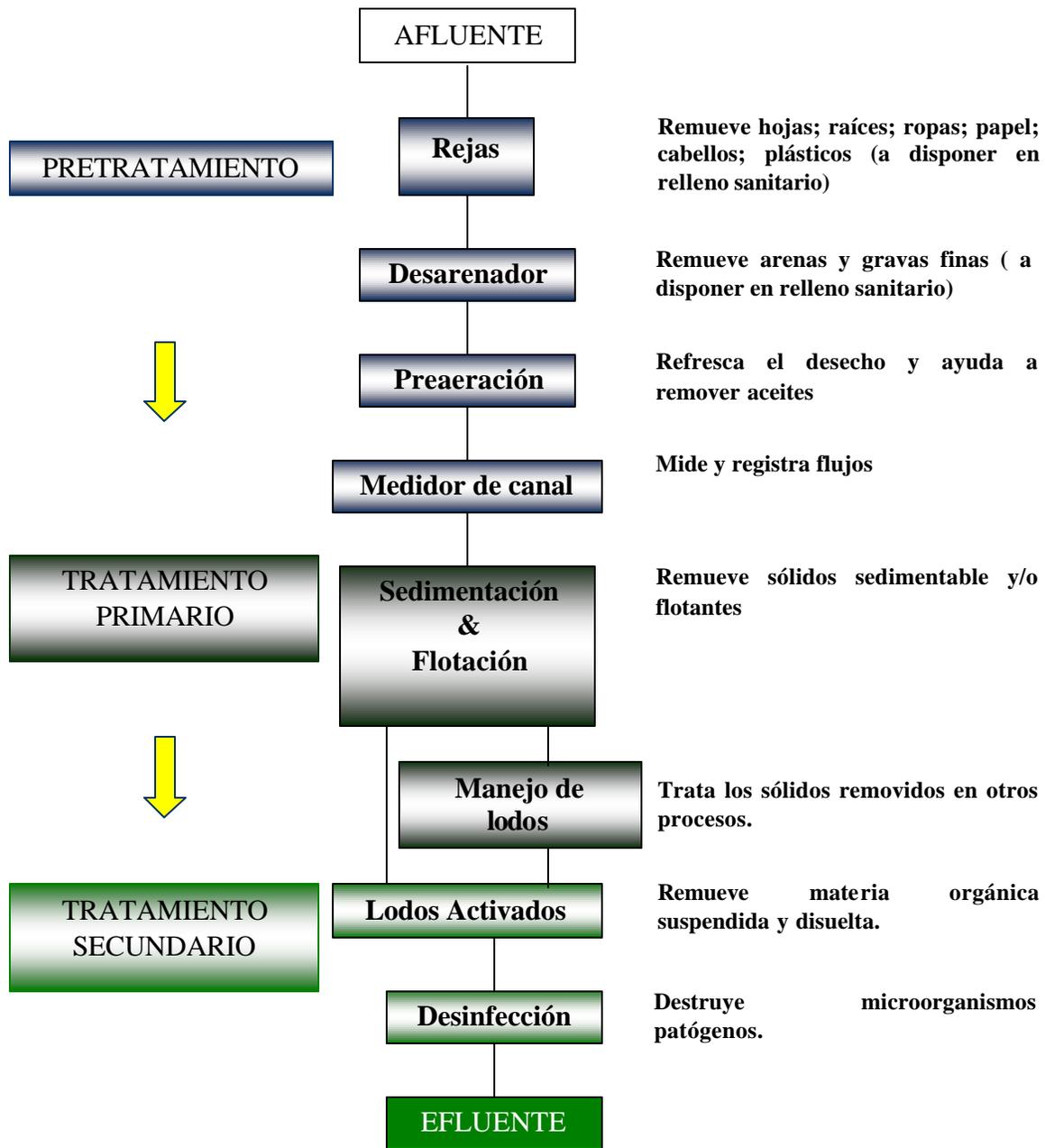
Desde el punto de vista de funcionamiento, el residuo orgánico se introduce en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se denomina líquido mezcla. El ambiente aerobio en reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos que, a su vez, sirven para mantener el líquido mezcla en un régimen de mezcla completa. Tras un período determinado de tiempo, la mezcla de

las nuevas células con las viejas se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas es recirculada para mantener la concentración deseada de organismos en el reactor, mientras

que otra es purgada del sistema. El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia deseada del tratamiento y de otras consideraciones referentes a

la cinética del crecimiento (ritmo de crecimiento de las bacterias). Un esquema de un

sistema de lodos activados se ilustra en la Figura 19.



Fuente. Jaramillo Orozco, Alvaro. Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales, pag.38.

Figura 19. Diagrama general para un sistema de lodos activados

Existen diferentes diseños de lodos activados como son; plantas compactas, zanjas de oxidación, reactores discontinuos secuenciales, entre otros. Esta primera forma o diseño de lodos activados es la considerada como alternativa para el estudio, pues de acuerdo a las opiniones de expertos en la materia es la forma en cuanto a lodos activados se refiere, más adecuada para el caso de la empresa .

Las plantas compactas pueden ser del tipo de aeración extendida, de estabilización por contacto y de mezcla completa. El tipo de planta compacta a evaluar es de aeración extendida (ver Figura 20), debido a que presentan la ventaja de prescindir de sedimentación primaria y generar lodos altamente mineralizados, permitiendo en consecuencia su disposición como acondicionador de suelos (previo acondicionamiento en zona de acopio) sin necesidad de tratamiento posterior. Adicionalmente, el hecho de prescindir de la componente unitaria de sedimentación primaria, trae como ventaja el obviar la consecuente necesidad de efectuar tratamiento a los lodos crudos que se generen.

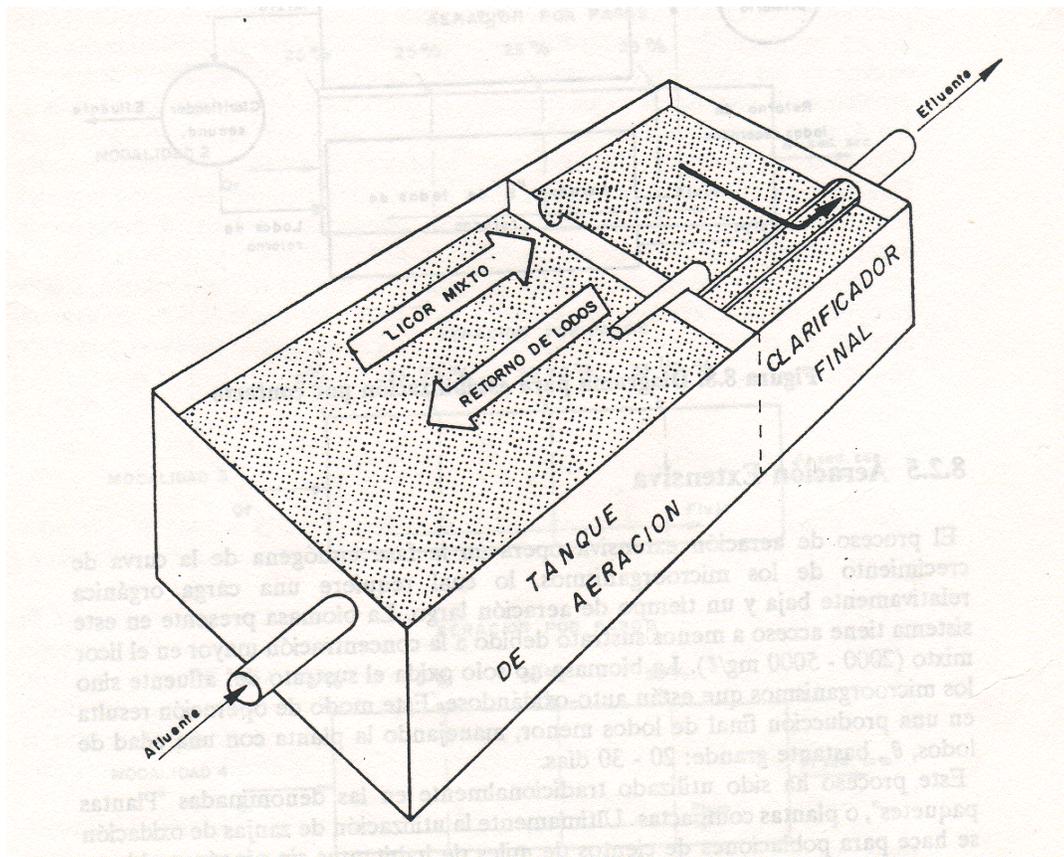


Figura 20. Planta Compacta (dos compartimientos)

Las principales ventajas de este sistema son:

- **Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.**

- **Eficiencia de remoción de carga orgánica sustancialmente más alta que la que se alcanza en otros procesos como los del tipo Convencional por Cultivo Fijo (Filtros percoladores, Biodiscos, etc.), logrando valores superiores a un 90 %.**

- **Minimización de olores y ausencia de insectos.**

- **Puede incorporar desnitrificación al proceso.**

- **Prescinde de sedimentación primaria, y los lodos generados son altamente mineralizados, por lo que no requieren de tratamiento posterior.**

Entre las desventajas se pueden citar fundamentalmente las siguientes:

- **Control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.**

- **Altos costos de operación, asociados fundamentalmente a los requerimientos de oxígeno, los que se proveen en forma mecanizada.**

- **Bajo abatimiento bacteriológico, logrando en general abatir no más allá de un ciclo logarítmico en términos de Coliformes Fecales, con la consecuente necesidad de efectuar desinfección final al efluente.**

6.3.2 Filtros percoladores. El primer filtro percolador se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893 y desde ese momento su uso se ha extendido ampliamente para el tratamiento biológico de agua residual.

El filtro percolador moderno (ver Figura 21) consiste en un lecho formado por un medio permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2,5 a 10 cm de diámetro. Existen filtros percoladores que utilizan unos medios filtrantes plásticos, que constituyen una innovación más reciente y que se construyen de sección cuadrada u otra cualquiera. El lecho del filtro es generalmente circular y el líquido a tratar se rocía por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio.

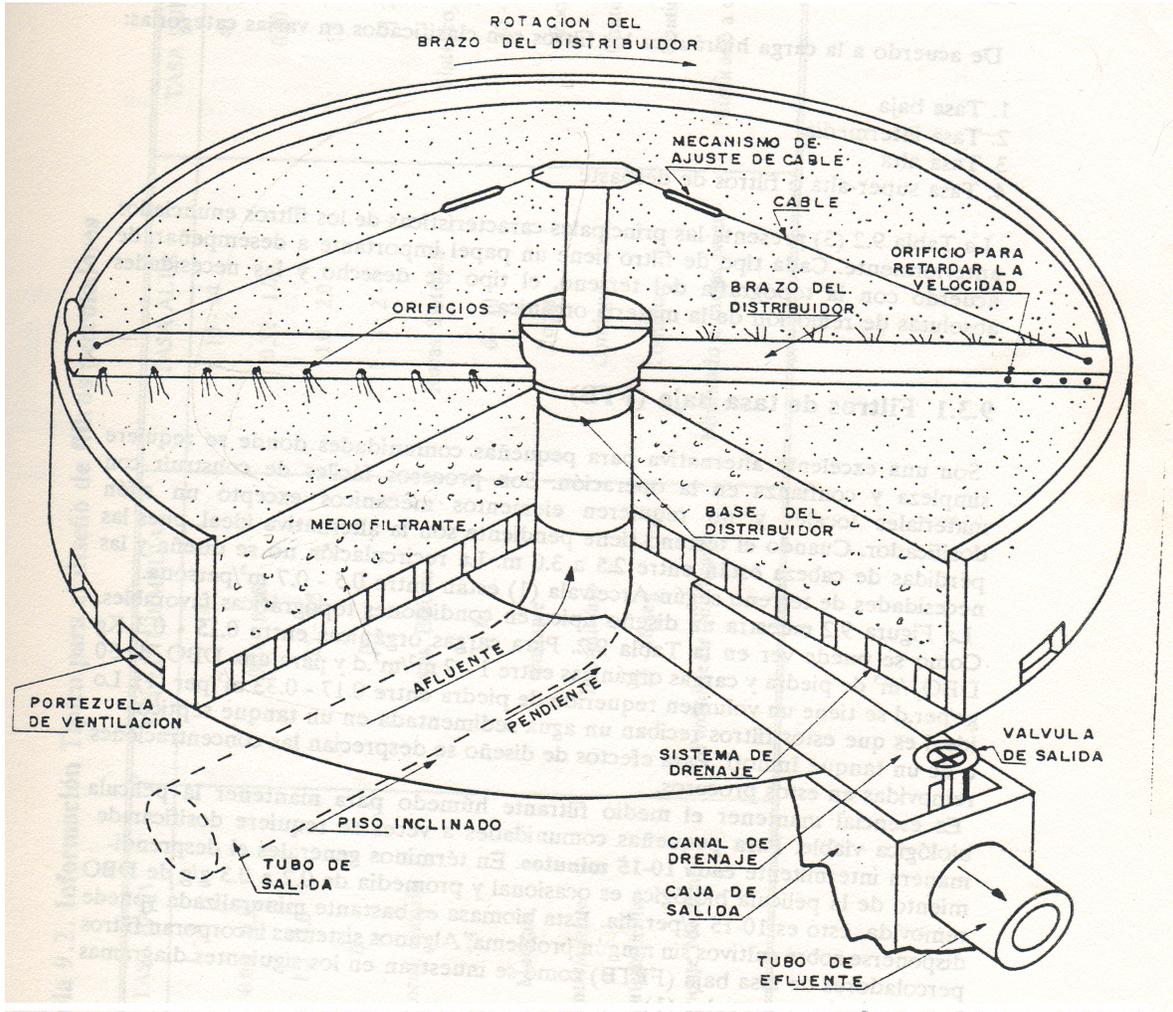


Figura 21. Filtro percolador

Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio. Este sistema de desagüe inferior es importante, tanto como instalación de recogida como por su estructura porosa a través de la cual puede circular el aire.

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. Dicha materia orgánica es adsorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar en todo el espesor de la película. Por lo tanto se establece un ambiente anaeróbico cerca de la superficie del medio.

Las principales ventajas de los filtros percoladores son:

- **Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente.**
- **Bajos costos de operación y mantenimiento comparados con otros procesos del tipo convencional como el de lodos activados.**

- **Producen un lodo estable concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar.**
- **De fácil puesta en marcha luego de una detención.**

Las principales desventajas son:

- **Baja posibilidad de incluir remoción de nutrientes en el proceso.**
- **Necesidad de Sedimentación Primaria para disminuir los sólidos suspendidos afluentes a la componente biológica.**
- **Riesgo de desarrollo de moscas *psychoda*, especialmente en climas cálidos o templado durante las estaciones de alta temperatura.**
- **Requieren de un eje hidráulico de 3 o más metros de desnivel.**

- **Poca efectividad para tratar cargas orgánicas demasiado elevadas, las cuales producen un atascamiento de los espacios libres del lecho por el exceso de crecimiento bacterial. Esta situación lleva a inundaciones y fallas en el sistema.**
- **Al ser los tiempos de contacto menores que los de un sistema de lodos activados, parte de la DBO soluble presente originalmente en el desecho escapa en los efluentes.**

6.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Al momento de evaluar la tecnología de tratamiento de agua residual debe haber un enfoque hacia el desarrollo de la economía y de la sociedad, pues de no ser así, se limitará a optar por un sistema más o menos burdo para cumplir con unas normas ambientales.

Es por ello, importante evaluar cualquier tecnología, a la luz del desarrollo que pueda generar a nivel interno (empresa) y externo (localidad), es decir, el aprovechamiento que se logre sobre la inversión y de la contribución que al desarrollo sostenible de la localidad se genere.

Más allá de los costos, el dueño del proyecto en particular, debe tomar determinaciones de orden filosófico y estratégico en la concepción de los sistemas de tratamiento. ¿Qué hacer con el efluente y en particular con sus tres componentes principales : el agua, la materia orgánica y los nutrientes, todos siendo materias primas valiosas ?.

Emprender un proceso tan costoso y delicado como la construcción de un sistema de tratamiento, para finalmente limitarse con cumplir con una norma administrativa y verter el efluente al cuerpo de agua más cercano con un 20 % de la materia orgánica, y la mayoría de los nutrientes y de los patógenos presentes en el agua residual, deja una impresión de desgaste : ¿No se podría valorar mejor el recurso agua, el recurso nutriente y el recurso materia orgánica ?.

Para una empresa, tener un sistema de tratamiento que se limita a su función "primaria" de cumplir con una norma ambiental, genera un costo que debe ser incorporado al precio del venta del producto. Pero muchas compañías han podido transformar la "imposición ambiental" en una oportunidad empresarial, utilizando su sistema como una unidad que le permita generar una ventaja competitiva a través de la disminución de los gastos por consumo de agua debido a la reutilización del líquido.

6.4.1 Evaluación cualitativa de las alternativas de tratamiento. **El análisis cualitativo de las alternativas se ilustra en el Cuadro 11.**

cuadro 11. Comparación de factores

Factor	Lodos Activados	Filtros Percoladores
Eficacia	Remoción DBO > 90%	Remoción máx 85%
Variación del caudal	Baja carga	Carga variable
Limitaciones Ambientales	Ninguna	Generación de plagas (moscas psychoda)
Necesidades energeticas	Altas	Medias
Residuos del Tratamiento	Alta generación de lodos, CO ₂	Baja generación de lodos
Disponibilidad de espacio	Áreas limitadas	Área limitada
Procesos Auxiliares	No	si
Complejidad	Personal especializado	Personal especializado
Fiabilidad	Estable	Mayor Estabilidad

Los factores tenidos en cuenta para la evaluación de las alternativas se refieren a:

- **Eficacia:** Se mide en función de la calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido de efluentes.

- **Variación del caudal:** Es la tolerancia del sistema a trabajar en forma normal a pesar de las variaciones que se puedan presentar en el caudal.

- **Limitaciones ambientales:** Factores ambientales tales como la proximidad a núcleos de población o instalaciones, pueden implicar restricciones sobre la aplicabilidad de determinados sistemas de tratamiento, especialmente en el caso de procesos que puedan generar olores o plagas.

- **Necesidades energéticas:** Es necesario conocer las necesidad de energía debido a los costos actuales y futuros de este rubro.

- **Residuos de tratamiento:** Es necesario conocer o estimar los tipos y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos.

- **Disponibilidad de espacio:** Se debe determinar si existe espacio suficiente, no sólo para la implementación de las instalaciones que se están estudiando, sino también para instalaciones futuras. ¿qué superficie de terreno hay disponible para minimizar el impacto visual de la construcción de las instalaciones?.

- **Procesos auxiliares:** ¿Qué procesos auxiliares son necesarios? ¿ como afectan la calidad del efluente cuándo se encuentran inoperantes?.
- **Complejidad:** Se refiere al grado de complejidad presenta la explotación del proceso, tanto en cuestiones rutinarias como de emergencia. ¿qué nivel de preparación de los operarios es necesaria?.
- **Fiabilidad:** Es la fiabilidad a largo plazo de la operación o proceso unitario en cuestión. ¿Puede desestabilizarse el proceso fácilmente?.

6.4.2 Evaluación cuantitativa de las alternativas de tratamiento. **A continuación se presentan los costos de inversión (Planta compacta, interventoría, excavación, permeabilización del suelo, cimientos, tubería, etc.) y de operación anual requeridos para cada alternativa los cuales incluyen los costos por reutilización del agua (bomba, estudio de suelo, asesoría de Ingeniero Agrónomo, redes de tubería, diseño de planos, etc).** Es conveniente aclarar que estos costos son estimaciones obtenidas a través de consultas informales realizadas a firmas e ingenieros que diseñan y venden estos sistemas de tratamiento los cuales deben ser afinados al momento de implementar el proyecto.

El costo de construcción de la planta es de US\$ 150.000 por L/seg y el de operación es de US\$2 por habitante por año, entonces, los costos de la alternativa son:

$$\text{Costo de construcción} = (40.3 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día}{86.400 seg} \times \frac{1000 L}{1 m^3}) \times (US\$ 150.000/L/seg)$$

$$\text{Costo de construcción} = (0,47 L/seg) \times (US\$ 150.000/L/seg)$$

$$\text{Costo de construcción} = US\$ 70.500$$

$$\text{Costo de operación y mantenimiento (anual)} = (US\$ 2/hab - año) \times (717 hab)$$

$$\text{Costo de operación y mantenimiento (anual)} = US\$ 1.434 / año$$

Los costos que se deben incurrir para el sistema de filtro percolador, se diferencia del anterior sólo por el costo del dispositivo previamente dicho. El costos de construcción es de US\$ 400.000 por L/seg y el de operación es de US\$ 5 por habitante por año. Entonces tenemos que :

$$\text{Costo de construcción} = (US\$ 400.000/L/seg) \times 0,157 L/seg$$

$$\text{Costo de construcción} = (US\$ 400.000/L/seg) \times 0,157 L/seg$$

$$\text{Costo de construcción} = US\$ 62.800$$

$$\text{Costo de operación y mantenimiento (anual)} = (US\$ 5/hab - año) \times (717 hab)$$

Costo de operación y = US\$ 3.585
mantenimiento (anual)

6.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

El proceso de toma de decisiones no es una tarea fácil y siempre existe la probabilidad de fallar. Para evitar errar, es decir, disminuir la probabilidad de escoger la alternativa equivocada, se hace necesario considerar el máximo de factores que influirán de una u otra forma en éxito del proyecto.

Por lo tanto, para escoger la alternativa mas conveniente para la empresa se ha decidido utilizar dos métodos de selección de alternativas ampliamente utilizados para este tipo de proyectos, como lo son el método de análisis de beneficio / costo y el de ponderación de factores.

Es conveniente aclarar que Tubocaribe generó este proyecto por su deseo de utilizar una tecnología que esté acorde con los avances y desarrollos en materia de tratamiento de aguas residuales y con su compromiso en la organización hacia el cuidado del medio ambiente.

6.5.1 Selección de la alternativa por el método de ponderación de factores. **Para seleccionar la tecnología de tratamiento más adecuada para Tubocaribe, se utiliza en un primer plano el método de ponderación de factores, como se muestra en el Cuadro 12. El establecimiento de los factores y su calificación se establecieron con el Ingeniero a cargo del proyecto en la Empresa.**

La puntuación más alta corresponde a la alternativa más deseable (4-
Alto, 1 Bajo).

cuadro 12. Ponderación de las alternativas

Factor	Ponderación	Lodos Activados		Filtros Percoladores	
		Calificación	Calificación. Ponderada	Calificación	Calificación. Ponderada
Consideraciones Ambientales	50%	4	2	2	1
Costos	40%	2	0,8	4	1,6
Flexibilidad para cumplir con requerimientos más estrictos	8%	4	0,32	2	0,16
Facilidad de Operación y Mantenimiento	2%	3	0,06	4	0,08
			3,18		2,84

Resumiendo lo anterior se tienen las siguientes observaciones:

Por el método de factores ponderados, la alternativa de lodos activados es la más conveniente pues satisface las expectativas de tratamiento en mejor forma, es decir, dispone un efluente de mayor calidad, y podrá en un futuro ajustarse fácilmente a restricciones más exigentes, debido a que las remociones que realiza son de un orden mayor del 90%. Incluso no necesita un proceso posterior de desinfección para utilizar el efluente en el riego de zonas verdes.

Por otro lado, para el filtro percolador se haría necesario colocar un tanque de desinfección luego del tratamiento para poder disponerlo como efluente para riego, debido a que el líquido que dispone este dispositivo es de menor calidad que el dispuesto por el sistema de lodos activados. Además, ocasiona inconvenientes en cuanto a la generación de plagas (moscas psychoda). Sin embargo, este es menos costoso.

6.5.2 Selección de la alternativa por el método costo / beneficio. La relación beneficio / costo, consiste en poner en valor presente los beneficios y dividirlos por el valor presente de todos los costos del proyecto. Este método a diferencia del anterior considera solo aquellos beneficios que se puedan cuantificar.

Los beneficios son todos aquellos aspectos positivos que se generaran en un futuro si se implementa un determinado proyecto. En el caso de implementar el dispositivo de

lodos activados o el de filtro percolador se obtendrán los mismos beneficios, en cuanto al ahorro en pago de servicios públicos por concepto de reutilización del agua residual doméstica y por las sanciones que debería pagar si no cumpliera con la norma de vertimiento. Estos beneficios se muestran a continuación:

$$\text{Ahorro en servicios (anual)} = (\text{Costo agua } \$/\text{m}^3) \times (\text{Agua residual tratada } \text{m}^3/\text{año})$$

$$\text{Ahorro en servicios (anual)} = (40,3 \text{ m}^3/\text{día} \times 30 \text{ días/mes} \times 12 \text{ meses/año}) \times (1260 \text{ } \$/\text{m}^3)$$

$$\text{Ahorro en servicios (anual)} = 18.280.080 \text{ } \$/\text{año}$$

El ahorro por sanción se obtiene a través de la fórmula de tasa retributiva ordinaria (TO), contemplada en el Decreto 1584 de 1984, Capítulo XII (ver **anexo I**).

$$TO = CC \times SM1$$

donde:

CC = Carga combinada.

SM1 = Factor que permite expresar el costo del programa de control por unidad de carga combinada, en pesos / Kg.

$$CC = \frac{2DBO + DQO}{3} + SS$$

$$SM1 = A \times SMD$$

Datos:

DBO total de la planta = 358 Kg/día

DQO total de la planta = 483.2 Kg/día

SS total de la planta = 0,12 Kg/día

Salario mínimo diario vigente en la fecha de evaluación (SMD) = \$10.300

A = 2.5×10^{-4} días / Kg.

Entonces,

$$CC = \frac{2(358) + 483,2}{3} + 0,12$$

CC = 400 Kg/día

$$SM1 = (2.5 \times 10^{-4}) \times 10.300$$

SM1 = 2.6 pesos / Kg

Luego:

$$TO = 400 \times 2.6$$

TO = 1.040 pesos / día

Ahorro por sanción (anual) = (1.040 pesos/día \times 30 días/mes \times 6 meses/sem \times 2 sem./año)

Ahorro por sanción (anual) = \$374.400

Ahora bien, además de los beneficios mostrados anteriormente se lograrán beneficios “intangibles”, los cuales no se apreciarán notoriamente ahora pero que a mediano y largo plazo darán sus frutos.

Uno de estos beneficios es la imagen positiva que obtendrá la empresa a nivel mundial, por establecer un manejo ambiental encaminado a la protección y preservación de los recursos naturales. Esta imagen positiva significará mayores oportunidades en su principal mercado (Estados Unidos), lo cual se verá traducido en el aumento de sus ventas. Otro beneficio es la conversión de la empresa en un ejemplo de generación de cultura .

El Cuadro 13 muestra los respectivos costos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento.

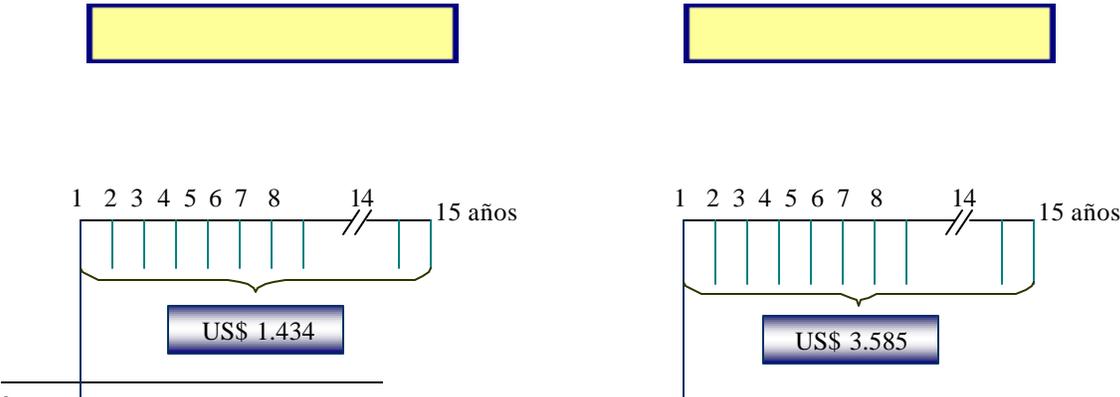
cuadro 13. Costos de construcción y operación

	Lodos Activados	Filtro percolador
Costo de construcción (Estimación de Ingenieros)	US\$ 70500	US\$ 62800
Costo de Operación y mantenimiento (anual)	US\$ 1434	US\$ 3585

Una vez obtenido los beneficios y los costos, se procede a realizar el análisis beneficio costo para las alternativas de tratamiento.

La tasa de descuento a utilizar es la tasa promedio del mercado 31% EA². No se utilizará la información de los “ingresos” por cuanto no hay diferencia en este aspecto entre las alternativas, y aclaramos que en el análisis solo se incluyen factores que creen diferencia.³ La vida útil para los dos sistemas será de 15 años, con un valor de salvamento de cero debido a la misma naturaleza y el servicio que presta el bien.

Los diagramas de flujo de cada alternativa se muestran en la Figura 22.



² La productividad del sector privado esta r US\$ 62.800 n las tasas de interés que los US\$ 70.500 a sus empresarios prestaran mediante este razonamiento, descuento se debe usar una tasa que refleja las tasas de interés que pagan los empresarios privados cuando prestan dinero para propósito de inversión.

³ Los beneficios (ahorros) que se lograrán en realidad no son ingresos, estos solo ayudaran a disminuir el valor de los egresos para la realización del proyecto.

Figura 22. Diagramas de flujo

Resolviendo; tenemos que el costo presente equivalente de las alternativas son:

$$CPE_{Lodos\ activado} = 70.500 + 1.434(P/A, 31\%, 15)$$

$$CPE_{Lodos\ activado} = 70.500 + 1.434(3,16963)$$

$$CPE_{Lodos\ activado} = US\$75.052$$

$$CPE_{Filtro\ Percolador} = 62.800 + 3.585(P/A, 31\%, 15)$$

$$CPE_{Filtro\ Percolador} = 62.800 + 3.585(3,16963)$$

$$CPE_{Lodos\ activado} = US\$74.163$$

La relación beneficio / costo para cada alternativa se obtendría como la razón de los beneficios tangibles antes anotados llevados a valor presente, entre el costo presente equivalente de la alternativa. Pero, como los beneficios son los mismos ya no es necesario realizar esta razón, por lo que la alternativa que tenga un menor costo presente equivalente dará un mayor cociente y será esta la alternativa a elegir por éste método. Es decir, la alternativa de filtro percolador.

6.5.3 Ponderación de factores Vs Beneficio / costos. **La alternativa escogida es la de lodos activados, debido a que su costo excedente justifica los beneficios que esta genera. Es conveniente agregar que se consultó a empresas como Planta el vivero ubicada en Cali, que utiliza este sistema de tratamiento, y ofreció una opinión positiva de esta tecnología. Lo anterior se refleja en las estadísticas en cuanto a las tecnologías de tratamiento más utilizadas en Colombia, que se muestran en el cuadro 14.**

cuadro 14. Tecnologías de tratamiento

TECNOLOGÍAS EN PROCESO	CANTIDAD	%
Lagunas (aeróbicas/anaeróbicas)	105	55.0
Lodos activados (aeróbicos)	43	22.5
Filtros percoladores (aeróbicos)	24	13
Sistemas UASB (anaeróbicos)	17	09.0
Sistema operativo primario	1	0.5
Total Tecnologías	190	100

Fuente. Ministerio del medio ambiente. Política de saneamiento básico, pág. 13.

La planta compacta se localizará en la zona noroeste de Tubocaribe, lugar que desde un comienzo asignó la empresa para tal fin y ocupará una superficie de 50 m². Las especificaciones estándar para este tipo de plantas es de 4 x 4,2 x 8 metros y estará en capacidad de manejar un caudal que esté en un rango de 35 a 45 metros cúbicos día. El modelo propuesto se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Modelo de Planta Compacta. (Ecojet)

9.3.1.1

9.3.1.2



9.3.1.3

9.3.2 CAPÍTULO 7

9.3.2.1.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO

9.3.2.1.2 AMBIENTAL

7. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación del impacto ambiental que genera un proyecto de saneamiento de aguas residuales se compone de dos partes fundamentales. La primera es la descripción de la tipología de proyecto, que consiste en la reseña general de la alternativa de tratamiento seleccionada, lo que se realizó en el capítulo anterior.

La segunda parte consiste en la identificación, predicción y evaluación de impactos lo que se realizará en el presenta capítulo. Es conveniente agregar que se analizaran solamente las variables ambientales a incorporar en el análisis de la alternativa al nivel de factibilidad y no las consideraciones de diseño de cada una de ellas, las que se encuentran fuera del alcance de este proyecto.

7.1 Impactos sobre los componentes de la línea base. El impacto de un proyecto de tratamiento se mide con relación a lo que se le denomina línea base. Esta se define como los componentes ambientales y parámetros o variables necesarias que permiten la caracterización de un proyecto.

**Los componentes ambientales que describen la línea base del sistema de
tratamiento de agua residual , se muestra en el Cuadro 15.**

cuadro 15. Impactos sobre los componentes de la Línea Base

a) Medio Físico

a.1 Aire

- Olores provenientes del proceso de tratamiento o de las operaciones de eliminación de lodos
- Ruidos provenientes del proceso de tratamiento

a.2 Suelo

- Contaminación del suelo y/o subsuelo, y/o aguas subterráneas cuando el efluente tratado es sometido a infiltración

a.3 Agua

- Alteración de la flora y fauna de las aguas del cuerpo receptor
- Alteración de la calidad requerida para usos o actividades específicas en determinadas áreas

b) Medio biótico, Flora y Fauna

- Afectación de vegetación natural
- Deterioro de la calidad de las especies circundantes en el área
- Reproducción y alimentación de vectores de enfermedades en los sitios de almacenaje, reutilización o eliminación del lodo

c) Medio Socioeconómico

c.1 Infraestructura y Servicios

c.1.1 Estructura urbana o rural

- Paisaje general

c.1.2 Operación y Servicios

- Fallas del proceso de tratamiento
- No alcanzar la calidad requerida de las aguas servidas tratadas

c.2 Población, Características culturales

- Aceptabilidad del proyecto

d) Calidad del Paisaje

- Molestias e impactos estéticos adversos, percibidos o reales, en las cercanías de las obras de tratamiento

Fuente. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias el Ambiente).

7.2 Definición de actividades relevantes en las distintas etapas del proyecto.

Las actividades relevantes a considerar para la determinación de los impactos ambientales de las alternativas de tratamiento a analizar, deben ser establecidas tanto para la etapa de habilitación y construcción como de operación de la planta de tratamiento.

En forma global, se deberán considerar al menos las siguientes variables:

7.2.1 Etapa de Habilitación y Construcción. Con respecto a la habilitación y construcción de la planta, las variables relevantes a considerar corresponden a las mostradas en el Cuadro 16.

cuadro 16. Etapa de habilitación y construcción

ETAPA DE HABILITACION Y CONSTRUCCIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Remoción capa superficial de suelos (alteración vegetación y fauna)• Movimientos de tierra• Interferencia al tránsito (efectos barrera)• Alteración del Paisaje y Estética• Fuente de trabajo (corto plazo)• Actividades propias de una faena de obras civiles: ruido, polvo, tránsito de vehículos, movimiento maquinaria pesada

Fuente. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias el Ambiente).

7.2.2 Etapa de Operación de la Planta de Tratamiento. **En el tratamiento de las aguas residuales, cualquier alternativa a analizar comprenderá las componentes de tratamiento preliminar, el tratamiento propiamente tal y el tratamiento, deshidratación y secado de lodos.**

Las variables relevantes a considerar corresponden en general al siguiente detalle (ver Cuadro 17).

cuadro 17. Etapa de operación

ETAPA DE OPERACION
<p>2.2 BUENA OPERACION</p> <ul style="list-style-type: none">• Descarga de aguas tratadas al cuerpo receptor sin alterar su calidad.• Disposición Final de Lodos <p>MALA OPERACION</p> <ul style="list-style-type: none">• Alteración negativa en el entorno y componentes del área de influencia

Fuente. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias el Ambiente).

7.2.3 Etapa de Abandono de la Planta de Tratamiento. Los efectos ambientales que se generan en la Etapa de Abandono tienen relación fundamentalmente con las obras civiles asociadas.

En consecuencia, si se prevé un nuevo uso del suelo, deberá considerarse la demolición de las obras civiles y los efectos ambientales asociados, con lo que las variables relevantes a considerar corresponden a las siguientes (ver Cuadro 18).

cuadro 18. Etapa de abandono

ETAPA ABANDONO
<ul style="list-style-type: none">• Demolición• Transporte de Escombros• Incremento Tráfico Peatonal y Vehicular• Alteración del paisaje

Fuente. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias el Ambiente).

7.3 Identificación de potenciales impactos ambientales de la planta de tratamiento.

7.3.1 Etapa de construcción. **Los principales impactos producidos por el alistamiento del terreno e instalación de la planta compacta, sobre el área de influencia directa son:**

- **Descapote y excavación. En esta etapa se afecta la capa orgánica del suelo debido a las remoción realizada con el fin de instalar la tubería, preparación del suelo, construcción de cimientos, etc.**

- **Generación de ruido, producto del trabajo de excavación con maquinaria pesada, carguío y transporte del material de desecho, etc.**
- **Generación de polvo en suspensión, producto de los mismos aspectos señalados en el punto anterior.**
- **Eventual obstaculización del tránsito debido tanto a la circulación de camiones que transportan material de desecho, maquinarias y equipos, así como del traslado de la planta compacta hasta las instalaciones de la empresa.**
- **Alteración del medio físico natural.**
- **Paisaje y estética.**

7.3.2 Etapa de operación. **Los potenciales impactos que pudieran afectar el área de influencia directa del proyecto son los siguientes:**

- **Cuerpo receptor**
- **Calidad de las aguas**
- **Usos**
- **Calidad del aire**
- **Creación de problemas sanitarios**
- **Olores**
- **Moscas y vectores**
- **Generación de subproductos y residuos**
- **Ruidos**
- **Aspectos Sociales**

Se deben destacar que los potenciales impactos arriba detallados generan consecuencias en la población circundante en la medida que la planta no sea bien operada.

7.3.3 Etapa de Abandono. Los principales impactos debido al abandono de las instalaciones, afectan principalmente al área de influencia directa del proyecto:

- **Generación de ruido, producto del retiro de la planta de tratamiento, la demolición de las estructuras existentes, transporte de escombros, etc.**
- **Generación de polvo en suspensión, producto de las excavaciones.**
- **Eventual obstaculización del tránsito debido a la circulación de camiones que transportan material de desecho.**
- **Alteración del paisaje.**

7.3.4 Matriz del impacto ambiental de la Planta Compacta. Se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Matriz de impacto ambiental

AREA AMBIENTAL	SIN IMPACTO	IMPACTO POSITIVO	IMPACTO NEGATIVO			
			GRADO		TEMPORALIDAD	
			CONTROL ABLE	NO CONTR.	CORTO PLAZO	PERMANENTE
2.2.1.1.1 MEDIO FISICO						
AIRE			X		X	
SUELO			X			2.2.1.1.1.1.
AGUA						
CALIDAD DE AGUA		X				
USOS		X				
2.2.1.1.1.2 MEDIO BIOTICO. FLORA Y FAUNA	X					
2.2.1.1.1.3 CALIDAD DEL PAISAJE.			X		2.2.1.1.1.3.	2.2.1.1.1.3.1.
INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS						
ESTRUCTURA URBANA Y RURAL	2.2.1.1.1.3.					
OPERACION Y SERVICIOS						
GENERACIÓN RESIDUOS			X			X
OLORES	2.2.1.1.1.3.		X		X	
MOSCAS Y VECTORES	2.2.1.1.1.3.					
RUIDOS			X		2.2.1.1.1.	
POBLACION. CARACTERISTICAS CULTURALES		X				

7.3.5 Análisis de la matriz de impacto. A continuación se describen las implicaciones que se generaran en la implementación del sistema de tratamiento escogido:

- **Impactos negativos:**

Se afectará de forma temporal la calidad del aire del entorno debido a dos razones; la primera corresponde a la cantidad de partículas sólidas suspendidas en el ambiente por las excavaciones en las fases de acondicionamiento del terreno y construcción del sistema de tratamiento como tal. La segunda es por los necesarios mantenimientos que se deberán realizar, que incluyen la succión de lodos activados del sistema. Este impacto será de un grado controlable.

El suelo se impactará de manera permanente debido a que en él se incrustará la planta compacta junto con todos los accesorios requeridos. Este impacto será de grado controlable.

La calidad del paisaje se verá afectado debido a las partes de la planta que sobresaldrán en el terreno, este impacto será permanente y de grado controlable.

Habrá una generación de residuos permanentes, referidos a los lodos activados purgados de la planta compacta por razones de mantenimiento de la misma. Este impacto será de grado controlable.

Eventuales olores (corto plazo) por los mantenimientos que se le deberán practicar al sistema de tratamiento. Este impacto será de grado controlable.

Generación de ruidos temporal debido a las faenas de excavación y construcción del sistema. Este será de grado controlable.

- **Impactos positivos:**

Obtención de un agua residual doméstica en óptimas condiciones, las cuales minimizan el riesgo de generación de vectores de contaminación. Esto permitirá que la empresa se encuentre por encima de los criterios ambientales exigidos por la regulación ambiental local y acorde a los exigentes estándares ambientales internacionales.

Permitirá dar un uso racional al recurso escaso agua, utilizándola para riego de las extensiones de terreno y vegetación de la empresa.

Genera una cultura de preservación y cuidado hacia todos los recursos escasos de la empresa, con miras a fortalecer la actitud de todos hacia un desarrollo sostenible de la organización y de la región en particular.