



**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA PRIMERA BRIGADA DE INFANTERÍA DE MARINA
BRIM - 1**

**JEFF ALEXANDER OVIEDO MONTES
WILLIAM DIEGO PEREIRA VILORIA
CARMEN SOFÍA VITOLA GARRIDO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO
2007**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA PRIMERA BRIGADA DE INFANTERÍA DE MARINA
BRIM - 1**

**JEFF ALEXANDER OVIEDO MONTES
WILLIAM DIEGO PEREIRA VILORIA
CARMEN SOFÍA VITOLA GARRIDO**



Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**DIRECTOR
Ing. GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN
MSc. Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO
2007**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, Octubre 4 de 2007

Leer un libro enseña más que hablar con su autor, porque el autor, en el libro, sólo ha puesto sus mejores pensamientos.

René Descartes

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros y profundos agradecimientos a:

Las Familias de cada uno de los autores, por su apoyo desmedido, paciencia y comprensión; por los buenos valores infundados, que nos hacen sentirnos orgullosos y agradecidos con ellos.

Guillermo Gutiérrez Ribón, Ingeniero Civil, MSc. Ingeniería Ambiental y Director del presente proyecto, por su importante colaboración y sabios conocimientos.

Gonzalo Aladino Franco, Capitán de Fragata y comandante del Batallón de Comando y Apoyo de Infantería de Marina BACAIM N° 1 y a sus colaboradores Capitán **Juan Carlos Acuña** y Sargento **Juan Carlos Vergara**, por su colaboración y confianza depositada en nosotros para realizar este trabajo, el cual nos permitió afianzar nuestros conocimientos y adentrarnos un poco en esa admirable Institución Militar.

Gustavo Barros Cantillo y Ruby Ortiz Navas, Ingenieros Agrícolas, Docentes Universidad de Sucre, por sus amables comentarios, colaboración y valiosa asesoría al presente trabajo.

Maria José Mogollón, Ingeniera Sanitaria y Ambiental, Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental, por su ayuda y colaboración desinteresada, cuyas asesorías se dieron en un momento determinante para este trabajo.

Domingo Guerra Zapa, por sus importantes asesorías y amplitud de conocimientos que nos ayudó mucho en lo que concierne a los procesos operativos de la PTAR en estudio.

Marco Estrada y Maria Claudia Paternina, funcionarios Instituto Geográfico Agustín Codazzi, por su colaboración con la información suministrada de la zona del proyecto y su amable atención.

Tulio Ruiz, Ingeniero Químico, Profesional Especializado Departamento de Tasas Retributivas Carsucre, por su colaboración con información de normatividad ambiental vigente y sus comentarios al presente trabajo.

Said Márquez y José Gregorio, Ingenieros Agrícolas, Funcionarios Laboratorios Universidad De Sucre, por su valiosa ayuda en la realización de los estudios de agua y de suelos y sus aportes en conceptos técnicos.

Jorge Oviedo, Técnico Bibliotecario Universidad de Sucre, por su atenta e importante colaboración en el suministro de textos y documentos.

Leonardo Toscano, Ingeniero Agrícola, Docente Laboratorio de Suelos, por su importante y amable colaboración en algunas practicas de laboratorio de suelos.

Directivas y Cuerpo Docente, del Departamento de Ingeniería Civil, por la formación académica y humana que nos brindaron, transmitiéndonos sus invaluable conocimientos e inculcando el amor por esta maravillosa profesión, pero sobretodo por la investigación y la ética en la vida profesional.

Juan Pablo Chávez, Oscar Hernández, Celina Martínez, Fabio Maestre y Geovaldo Mendoza, Compañeros y Colegas, por su amistad, acompañamiento a lo largo de toda la carrera y colaboración en algunas fases del proyecto.

Liliana Vitola Garrido, Por su ayuda, al permitirnos usar los equipos necesarios para armar este trabajo.

Humberto Soto, Orobio, Guzmán y de más infantes, por su gran ayuda y acompañamiento en la fase de campo.

Universidad De Sucre, por brindarnos la oportunidad de formarnos en esta bella profesión como es la Ingeniería Civil.

... y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron con el desarrollo, elaboración y edición del presente trabajo de grado.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	4
Objetivo General	4
Objetivo Especifico	4
GLOSARIO	5
1.0 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	11
1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y GENERALIDADES	11
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	13
2.0 ESTADO DE ARTE	14
2.1 Generalidades Del Tratamiento De Aguas Residuales	14
2.1.1 Aguas Residuales	14
2.1.2 Aguas Residuales Domesticas	14
2.1.3 Aguas Grises	14
2.1.4 Características De Las Aguas Residuales	14
2.1.5 Efectos De Polución Por Las Aguas Residuales	15
2.2 Objetivo Del Tratamiento De Aguas Residuales	16
2.3 Muestras De Aguas Residuales	18
2.3.1 Muestreo	18
2.3.2 Recolección Y Preservación De Muestras (Literal E.2.3 RAS – 2000).	18
2.3.3 Tipos De Muestras	18
2.3.4 Metodologías De Aforo	19
2.3.5 Preservativos	20
2.3.6 Métodos De Preservación	20
2.4 PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	24
2.4.1 Sistemas De Tratamiento En El Sitio De Origen	25

2.4.2	Sistemas Centralizados	25
2.4.3	Pretratamiento	25
2.4.4	Sedimentación De Aguas Residuales	25
2.4.5	Tratamiento Biológico Aeróbicos	26
2.4.6	Tratamiento Biológico Anaerobio	26
2.4.7	Generalidades De Filtros Percoladores	27
2.4.8	Clasificación De Filtros Percoladores	33
2.5	SISTEMAS DE FILTROS PERCOLADORES	34
2.6	LODOS RESIDUALES	35
2.6.1	Tipos De Lodos	35
2.6.2	Características De Los Lodos	35
2.6.3	Disposición Final	36
2.7	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
3.0	METODOLOGÍA	38
3.1	Diagnóstico	38
3.2	Trabajo De Campo	39
3.2.1	Estudio De Los Componentes Hidráulicos Y Estructurales De La PTAR Y El Área Circundante En General	39
3.2.2	Estudio Del Afluente De ARD Y Cuerpo De Agua Receptor	40
3.3	Trabajo De Oficina	41
4.0	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BATALLÓN DE INFANTERÍA DE MARINA	42
4.1	Descripción General Del Proceso De Tratamiento De ARD De La PTAR	51
5.0	RESULTADOS, EVALUACION Y ANALISIS DE RESULTADOS	55
5.1	RESULTADOS	55
5.1.1	Topografía	55

5.1.2 Levantamiento De La Red De Alcantarillado Sanitario Del Batallón De Infantería De Marina N° 1	56
5.1.3 Muestreo De Aguas Residuales Domesticas	61
5.1.4 Aforo De Caudal	71
5.1.5 Estudio De Suelos	73
5.1.6 Estudio Del Lecho De Los Filtros Percoladores	86
5.2 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	87
5.2.1 Diagnostico Del Sistema De Tratamiento Existente Frente A Especificaciones Técnicas De Normatividad Vigente (Ras 2000)	90
5.3 ANALISIS DE RESULTADOS	95
6.0 CONCLUSIONES	98
7.0 RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de un Agua Residual Domestica Típica	15
Tabla 2. Efectos Indeseables de las Aguas Residuales	16
Tabla 3. Resumen de Muestreos Especiales o Requerimientos, Para el manejo de Preservación y Almacenamiento de Muestras, Tabla E.2.4 RAS 2000	22
Tabla 4. Principales Procesos de Tratamiento Biológico	27
Tabla 5. Memoria Descriptiva Registros Colectores de ARD	58
Tabla 6. Parámetros Analizados en el Colector Final	64
Tabla 7. Toma de Muestras Colector Final y Arroyo Grande de Corozal	66
Tabla 8. Memoria Descriptiva Registros Colectores de ARD	68
Tabla 9. Granulometría (Apique N° 1 – Muestra N° 1 – Estrato 4)	77
Tabla 10. Clasificación Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C (Apique N° 1 – Muestra N° 1 – Estrato 4)	77
Tabla 11. Granulometría (Apique N° 2 – Muestra N° 1 – Estrato 2)	78
Tabla 12. Clasificación Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C (Apique N° 2 – Muestra N° 1 – Estrato 2)	78
Tabla 13. Granulometría (Apique N° 2 – Muestra N° 2 – Estrato 3)	79
Tabla 14. Clasificación Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C (Apique N° 2 – Muestra N° 2 – Estrato 3)	79
Tabla 15. Valores Ensayo Capacidad Portante (Compresión Inconfinada, Apique N° 2 – Muestra N° 1 – Estrato 2)	83
Tabla 16. Valores Ensayo Capacidad Portante (Compresión Inconfinada, Apique N° 2 – Muestra N° 2 – Estrato 3)	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Geográfica del Proyecto	12
Figura 2. Esquema Filtro Percolador	29
Figura 3. Esquema de la Película Biológica en un Filtro Percolador	31
Figura 4. Esquema de Recirculación en Filtros Percoladores	34
Figura 5. Esquema del Proceso de la PTAR en Estudio	54
Figura 6. Caudal (Q) Vs Tiempo (t)	72
Figura 7. Perfil Estratigráfico por Observación Directa, Sondeo 1	74
Figura 8. Perfil Estratigráfico por Observación Directa, Sondeo 2	75
Figura 9. Curva Granulométrica, (Apique N° 1 – Muestra N° 1 – Estrato 4)	77
Figura 10. Curva Granulométrica, (Apique N° 2 – Muestra N° 1 – Estrato 2)	78
Figura 11. Curva Granulométrica, (Apique N° 2 – Muestra N° 2 – Estrato 3)	79
Figura 12. Esfuerzo Unitario Vs Deformación Unitaria, (Apique N° 2 – Muestra N° 1 – Estrato 2)	83
Figura 13. Esfuerzo Unitario Vs Deformación Unitaria, (Apique N° 2 – Muestra N° 2 – Estrato 3)	84

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Cámara de Igualamiento De Caudales	43
Fotografía 2. Detalle interno de la Cámara	43
Fotografía 3. Vista externa de los Sedimentadores Primarios	44
Fotografía 4. Vista Interna de los Sedimentadores Primarios	44
Fotografía 5. Filtros Percoladores	45
Fotografía 6. Vista interna de uno de los Filtros	45
Fotografía 7. Detalle interno del Sistema De Rotación	46
Fotografía 8. Vista externa de los Sedimentadores Secundarios	47
Fotografía 9. Vista interna Sedimentadores Secundarios	47
Fotografía 10. Cámara de Desinfección	48
Fotografía 11. Detalle de los Tabiques	48
Fotografía 12. Sistema de dosificación De Cloro	48
Fotografía 13. Dosificador de Cloro	48
Fotografía 14. Eras de Secado de Lodos	49
Fotografía 15. Tees de distribución de Lodos al lecho de secado de lodos	49 50
Fotografía 16. Orificios de drenaje del lecho	50
Fotografía 17. Canal de drenaje del Lecho de secado de lodos	50
Fotografía 18. Capas de Arena y Grava Que conforman el lecho de lodos	50
Fotografía 19. Caseta de Bombeo 1 adyacente a los sedimentadores primarios	51
Fotografía 20. Válvulas que controlan el paso del AR a los sedimentadores primarios	51
Fotografía 21. Equipos Hidroneumáticos que bombean el AR a los filtros percoladores	52
Fotografía 22. Compresor y tanque dosificador de aire	52
Fotografía 23. Casetas de bombeo 2 y 3 adyacentes los sedimentadores secundarios	52 53
Fotografía 24. Equipos recirculadores de AR	53
Fotografía 25. Equipos de recirculación de lodos	53
Fotografía 26. Vista de las variaciones del relieve a los alrededores de la PTAR	56 56
Fotografía 27. Vista de la obra de contención alrededor de la PTAR	56
Fotografía 28. Vista del relieve al interior de la PTAR	56
Fotografía 29. Descarga de los Biofiltros a los sedimentadores por acción de la gravedad	56 56
Fotografía 30. Registro colector 1	60
Fotografía 31. Registro colector 1. Con presencia notable de grasas	60
Fotografía 32. Registro colector 2	60
Fotografía 33. Registro colector 3 (manhol)	60
Fotografía 34. Macromedidor de agua potable Sappel	61
Fotografía 35. Registro colector 5	61
Fotografía 36. Registro colector 6	61

Fotografía 37.	Colector Final (punto de muestreo	61
Fotografía 38.	Recipientes dispuestos para la Toma de muestras	65
Fotografía 39.	Preservación de muestras	65
Fotografía 40.	Colector cocina de infantes	71
Fotografía 41.	Colector cocina de infantes	71
Fotografía 42.	Colector Casas de Suboficiales	71
Fotografía 43.	Registro 5	71
Fotografía 44.	Apique N° 1 parte externa de la PTAR	73
Fotografía 45.	Apique N° 2 parte interna de la PTAR	73
Fotografía 46.	Bomba Sumergible Marca Tsurumi	88
Fotografía 47.	Tubo de 4" Sedimentador- desinfección	88
Fotografía 48.	Brazo distribuidor en mal Estado	89
Fotografía 49.	Estructura del lecho en Deterioro	89
Fotografía 50.	Tableros y circuitos eléctricos	89
Fotografía 51.	Tableros en mal estado	89

RESUMEN

El presente trabajo denominado “Evaluación Técnica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Batallón de infantería de Marina N° 1”, contiene en primera instancia una síntesis descriptiva del área de influencia del proyecto, condiciones biofísicas y la agravante problemática de contaminación hídrica de los cuerpos receptores por la falta de tratamiento de aguas servidas provenientes de los municipios urbanos, por lo que plantea un diagnóstico a través de la descripción y análisis minucioso de la infraestructura existente (PTAR) de la infantería de Marina N° 1 y poder así contribuir con la problemática ambiental actual.

Para elaborar el presente documento se realizaron entrevistas a funcionarios encargados de la operación y mantenimiento de la PTAR en estudio, visitas e inspecciones de campo, conociendo así las condiciones físicas y ambientales que enmarcan la PTAR, dando como resultado una descripción detallada del sistema de tratamiento de aguas residuales en cuestión, posteriormente se realizaron investigaciones topográficas, hidráulicas, geotécnicas, estructurales y ambientales que se plasmaron en la fase de resultados, luego con los resultados obtenidos se procedió a la fase de evaluación del estado actual del sistema de tratamiento en estudio, especificándose las diversas causas de inoperabilidad de la PTAR y verificándose también sus características físicas con las suministradas en las especificaciones establecidas técnicamente en la normatividad y documentación pertinente (RAS 2000, Textos.), finalmente se procedió a la etapa de recomendaciones en la cual se formuló alternativas de tratamiento en el marco de la normatividad ambiental vigente, para la futura rehabilitación de la PTAR.

ABSTRACT

The following thesis whose name is "Technical Evaluation of the System of Wastewater Treatment of the Naval Infantry Battalion N° 1", contains, first of all, a descriptive synthesis of the area of influence of the project, its biophysical conditions and the aggravating problem of hydric contamination of the receiving bodies, by the lack of treatment of served water coming from urban municipalities, that's why it raises I diagnose through the description and meticulous analysis of the existing infrastructure (WWTP) of the Marines N° 1 and this way to be able to contribute with the solution for the environmental problem. In order to perform the current document some civil employees in charge of the operation and maintenance of the WWTP in study were interviewed, along with visits and inspection of field, in order to know therefore the physical and environmental conditions inside the WWTP, resulting into a detailed description of the system of wastewater treatment at issue, later were made topographic, hydraulic, geotécnicas, structural and environmental investigations that were shaped in the phase of results, soon with the obtained results came to the phase from evaluation from the present state from the system from treatment in study, specifying themselves the diverse causes of in operabilidad of the PTAR and verifying also their physical characteristics with the provided ones in the specifications established technically in the normatividad and pertinent documentation (EVENNESS 2000, Texts), finally were come to the stage from I diagnose in which it was within the framework formulated alternatives of treatment of the effective environmental normatividad, for the future rehabilitation of the PTAR.

INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos naturales es un tema que cada día gana importancia y nos compete a todos como miembros de la sociedad, esto hace que despierte en nosotros una búsqueda incesante de métodos que ayuden a cuidarlo y recuperarlo para poder ser aprovechados de forma sostenible por todos los seres vivos; de aquí que uno de los recursos vitales para el hombre, el agua, sea tema de estudio.

El agua se caracteriza por ser un elemento indispensable para la vida y se convierte en herramienta imprescindible en nuestras labores cotidianas, es por ello que resulta de gran importancia el cuidado permanente de las fuentes de abastecimiento de agua y el reconocimiento de los diferentes métodos que se emplean en el tratamiento de ésta con el objetivo de poder ser reutilizada. Las aguas residuales constituyen esos desechos líquidos a tratar, originados ya sea por uso doméstico o por procesos industriales.

Según la Organización de las Naciones Unidas ONU en los países de América Latina y el Caribe, casi 80 millones de personas no tiene acceso a servicios de agua potable y unos 120 millones a servicios de saneamiento, la situación se ve agravada por la creciente contaminación hídrica que alcanzan niveles alarmantes en la mayoría de las cuencas y cuerpos de agua, debido a la falta de tratamiento de aguas industriales como servidas provenientes de municipios urbanos.

En nuestro país el factor más relevante de contaminación hídrica lo constituye la carencia o ineficiente tratamiento y disposición de las aguas residuales domésticas urbanas. En el Municipio de Corozal el servicio de alcantarillado sanitario sin tratamiento de las aguas servidas en las áreas urbanas se constituye

la mayor problemática ambiental que presenta ésta comunidad, agudizada por el vertimiento de los residuos sólidos en el Arroyo Grande de Corozal. Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Corozal (P.O.T 2001), hace muchísimos años el arroyo Grande de Corozal, conformaba un verdadero y rico ecosistema en aguas superficiales y biodiversidad, limpios espejos de agua que servían como recreación y fuente de alimento a las comunidades aledañas del municipio de Corozal. En la actualidad, el arroyo Grande es el receptor de aguas negras provenientes de los municipios de Sincelejo, Morroa y aguas residuales del alcantarillado de la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM - 1, la Escuela de Carabineros Rafael Núñez y del mismo Municipio de Corozal. También es receptor del efluente tratado del frigorífico "Friogan".

Es necesario un tratamiento previo de las AR para que puedan ser vertidas en los cuerpos receptores de agua o redes de abastecimiento. Estos tratamientos contemplan una serie de procesos y equipos específicos en donde se presentan las características y dimensiones de dichos equipos. El proyecto de tratamiento de las AR en general, tiene como propósito el mejoramiento de la calidad de vida humana, del entorno social y ambiental; independientemente del tipo o sistema de tratamiento de residuos que se implemente. El marco conceptual que se concibe para su implementación es el de la producción más limpia y la minimización de los residuos a partir del origen.

En la presente investigación se analiza la problemática antes expuesta para contribuir como estudiantes de la Universidad de Sucre, en la protección y conservación de las fuentes de abastecimiento de agua de la región, a través de una evaluación técnica del diseño y operación del sistema de tratamiento existente en la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM-1 (Planta de Tratamiento de ARD por el proceso de Filtros Percoladores o Biofiltros), fase que conllevará a recomendaciones del rediseño y/o propuesta de alternativas de tratamiento adecuadas al tipo de residuo crudo como también al área disponible para el

respectivo emplazamiento, teniendo en cuenta la ubicación del cuerpo de agua receptor del efluente residual tratado conformado por el Arroyo Grande de Corozal.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar una evaluación técnica, sanitaria y ambiental, del sistema de tratamiento de las aguas residuales producidas en la Primera Brigada de infantería de Marina BRIM-1 en el Municipio de Corozal.

Objetivos Específicos

- ☞ Analizar los diferentes procesos, componentes y/o estructuras que conforman la PTAR, verificando el estado en que se encuentran cada uno de ellos.
- ☞ Medir en terreno áreas de emplazamiento, dimensiones de los componentes del sistema, zonas de vertimiento y adyacentes al cuerpo receptor.
- ☞ Formular con base al diagnostico obtenido de la PTAR, recomendaciones de alternativas de tratamiento en el marco de la normatividad ambiental vigente.

GLOSARIO

Acidez La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte a un pH de 8,2. La acidez se origina en la disolución de CO₂ atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales. Su efecto corrosivo en aguas residuales es de gran importancia, así como su posible efecto destructor o alterador de la flora y fauna de fuentes receptoras.

Ácido sulfhídrico El ácido sulfhídrico (H₂S) es un producto de la descomposición anaerobia de las aguas residuales.

La corrosión de las alcantarillas y de las plantas de tratamiento está, a menudo, relacionada con la producción de H₂S. Al exponer el agua residual a la atmósfera se desprende H₂S y se detecta un claro olor ofensivo a huevo podrido.

Adsorción Transferencia de una masa gaseosa, líquida o de material disuelto a la superficie de un sólido.

Afluyente Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas Crudas Aguas residuales que no han sido tratadas.

Alcalinidad La alcalinidad es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamientos anaerobios.

Ambiente Aerobio Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Ambiente anóxico Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.

Análisis Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

Análisis Físico-Químico del Agua Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis Microbiológico del Agua Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Bacterias Organismos eubacteriales procarióticos unicelulares. Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Así mismo, los organismos bacteriales patógenos se pueden acompañar de excretas humanas las cuales originan uno de los problemas sanitarios más graves en áreas de malas condiciones sanitarias.

Biodegradación Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Biopelícula Película biológica adherida a un medio sólido que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

Cámara Compartimiento con paredes, empleado para un propósito específico.

Carga Orgánica Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (Kg. /d).

Carbohidratos Grupos de compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, en los cuales el hidrógeno y el oxígeno están en la misma relación que en el agua; muy comunes en aguas residuales.

Canal Abierto Es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre

Canal Artificial Canal largo con pendiente suave construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o revestido con piedras, concreto, cemento, madera o materiales bituminosos.

Caudal Máximo Horario Caudal a la hora de máxima descarga.

Cloración Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Coliformes Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Compuestos Orgánicos Volátiles (C.O.V) En aguas residuales es común encontrar compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales al ser emitidos a la atmósfera pueden constituirse en contaminantes tóxicos para los usuarios o en gases orgánicos altamente reactivos, que pueden contribuir a la producción de ozono o de compuestos muy olorosos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenadores Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Desinfección Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Disposición Final Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

Detergentes Los detergentes son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos.

Efluente Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Efluente final Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Eficiencia de tratamiento Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Estructuras de entrega Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor de aguas lluvias o residuales.

Estudio Geotécnico Se define como estudio geotécnico todas las actividades complementarias definidas en las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sísmo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen, cuyo objetivo sea garantizar la estabilidad de las obras lineales para la instalación de ductos y redes.

Evaluación del Riesgo Evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo posado sobre la salud humana o sobre el ambiente por la presencia actual o potencial y/o por el uso de un polucionante específico.

Filtro Percolador Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

Grasas y Aceites Se consideran grasa y aceites los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar.

Materia Orgánica La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno principalmente; con las proteínas, los carbohidratos, grasa y aceites como grupos más importantes.

Lodo Suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.

Muestra Compuesta Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

Muestra Puntual Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Nitrógeno Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamiento biológico; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada biodescomposición.

Nivel Freático Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la Superficie del terreno.

Olor Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo.

Optimización Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

Oxígeno Disuelto Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

Paso Directo (By Pass) Conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten desvío del agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento correctivo.

Percolar Dicho de un líquido: Moverse a través de un medio poroso.

pH Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Pretratamiento Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Proceso Biológico Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Población Servida Número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

Población flotante Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio de tiempo corto por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

Sedimentación Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Sólidos Sedimentables Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

Sólidos Suspendidos Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

Tasas Retributivas De acuerdo con el artículo 18 del Decreto 2811 de 1974, la utilización directa o indirecta de los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas para introducir o arrojar en ellos desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen y sustancias nocivas que sean resultado de actividades lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas del servicio de eliminación o control de las consecuencias de las actividades nocivas expresadas. Dichas tasas serán pagadas semestralmente en los términos del presente Decreto, (Decreto 1594 de 1984).

1.0 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y GENERALIDADES

El municipio de Corozal se encuentra localizado en la República de Colombia, Departamento de Sucre, Región Costa Norte, Sub-Región Sabanas. Ubicado en la Región noreste del Departamento de Sucre, a una altura de 174 metros sobre el nivel del mar, y está situado a 9° 19' Latitud Norte y 75° 18' Oeste Longitud de Greenwich. La distancia existente entre el municipio de Corozal y la Capital del Departamento, Sincelejo, es 13 kilómetros, con el municipio de los Palmitos dista 8 kilómetros y con el municipio de Betulia dista 8 kilómetros. Limita al Norte con los Municipios de Morroa y los Palmitos; por el Sur con el municipio de El Roble; por el Este con los Municipios de Betulia y Sincé y por el Oeste con los municipios de Sampués y Sincelejo. Posee una extensión de 20.328.78 hectáreas, distribuidas en 418.4 Hectáreas en el área Urbana y 19.910.38 en el área Rural que con relación a la extensión del Departamento equivale a un 1.84% de la superficie departamental (P.O.T 2001, Figura 1).

Corozal tiene un clima cálido seco. Presenta una temperatura media anual de 27.2 °C, una humedad relativa del 80% y una precipitación media anual de 1105.6 mm. Existen dos períodos bien diferenciados en el Municipio de Corozal; Verano que va desde el mes de Diciembre a Marzo y un período de lluvia desde Abril hasta Diciembre. Además se da un período corto de sequía de Julio a Agosto conocido comúnmente como Veranillo de San Juan (P.O.T 2001).

El área de estudio (Primera Brigada de infantería de Marina BRIM-1) está localizada al Noroeste de la cabecera municipal, en la Carretera Troncal de Occidente Km8 de Corozal que comunica al Municipio con el Departamento de Sucre, zona Costa Atlántica y el interior del país. Tiene una extensión total de 64.76 Hectáreas, (IGAC 2005).

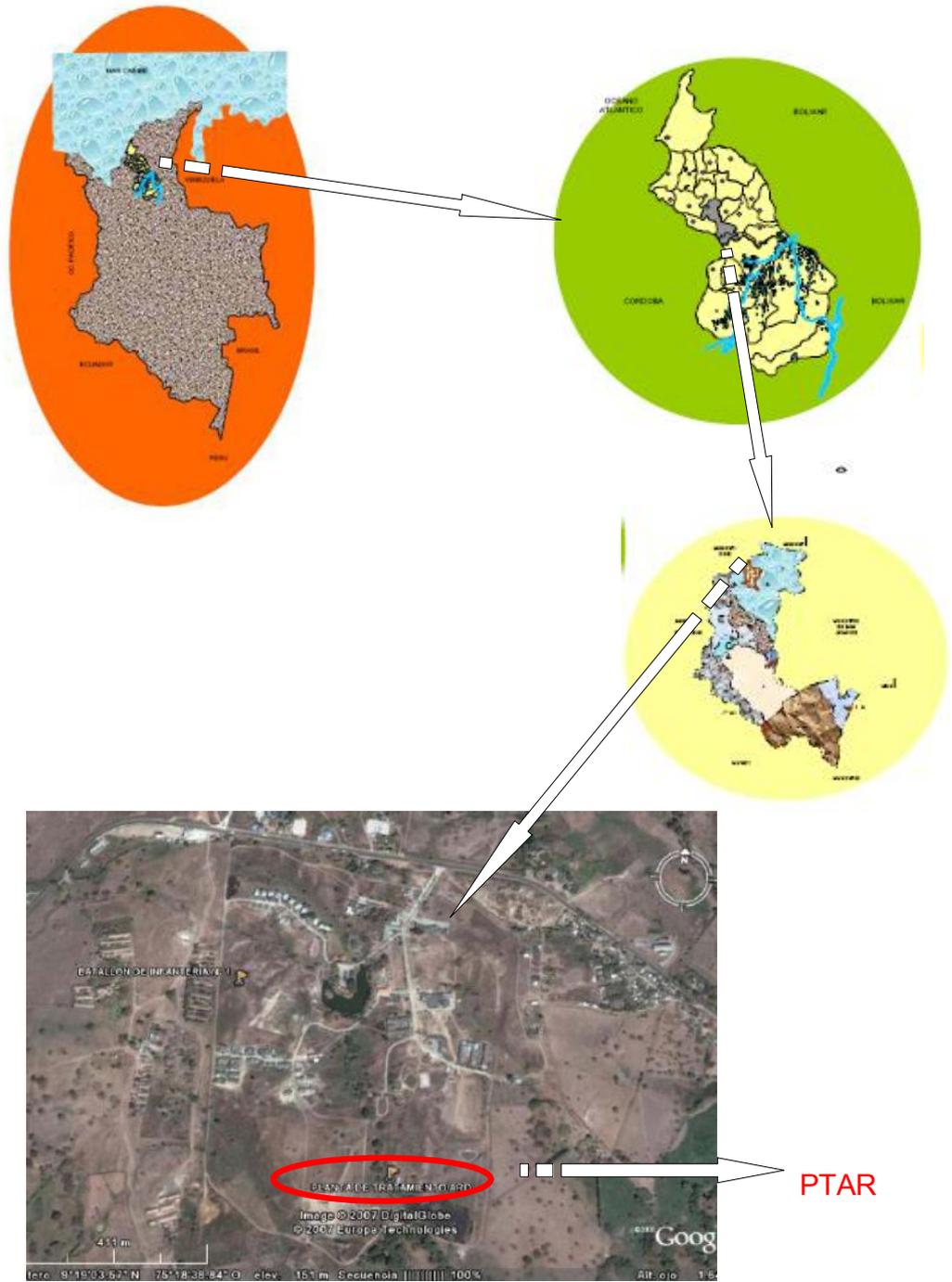


Figura 1. Localización geográfica del proyecto.

Fuente: P.O.T Municipio de Corozal, 2001, Google Earth, 2006.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El presente proyecto está orientado a la formulación de recomendaciones para la futura rehabilitación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Primera Brigada de infantería de Marina BRIM-1, en el Municipio de Corozal, cuyo proceso construido es el de Filtros Percoladores o Biofiltros.

El proyecto contempla una evaluación técnica, sanitaria y ambiental del diseño y operación del sistema de tratamiento existente, enmarcada en la normatividad ambiental vigente; con miras en alcanzar los indicadores de eficiencia en la remoción de los agentes contaminantes y así garantizar una disposición de residuo **Tratado**, al cuerpo de agua receptor (Arroyo Grande de Corozal) mitigando el foco de insalubridad y deterioro del entorno que actualmente vive el Arroyo Grande de Corozal.

2.0 ESTADO DE ARTE

2.1 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

2.1.2 Aguas Residuales Domesticas

Se consideran aguas residuales domesticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

También se acostumbra denominar **aguas negras** a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

2.1.3 Aguas Grises

Se considera a las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domesticas, excluyendo las de los inodoros.

2.1.4 Características De Las Aguas Residuales

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo vale la

pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud de los resultados.

Existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia para analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica. La siguiente tabla presenta las características típicas de un agua residual doméstica.

Tabla 1. Características de un agua residual doméstica típica (Romero J, 1999)

Parámetro	Magnitud
DBO	200 mg/ L
DQO	400 mg/ L
Sólidos suspendidos Totales	200 mg/ L
Sólidos suspendidos Volátiles	150 mg/ L
Nitrógeno Amónico	30 mg/ L – N
Ortofosfatos	10 mg/ L - P

2.1.5 Efectos de Polución por las Aguas Residuales

Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa polución solamente cuando introduce condiciones o características que hacen

el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto en la misma. En la siguiente tabla se muestra los efectos indeseados en las AR

Tabla 2. Efectos indeseables de las aguas residuales (Romero J, 1999)

Contaminante	Efecto
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces, olores indeseables.
Materia suspendida	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o trastorna la cadena alimenticia.
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles.	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la autpurificación.
Microorganismos patógenos	Las ARD pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembre ántrax.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor.	El incremento de temperatura afecta a los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público.
Sustancias o factores que trastornan el equilibrio biológico	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, etcétera.
Constituyentes minerales	Aumentan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación, contribuyen a la eutrofización del agua.

2.2 OBJETIVO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo con los diferentes estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80 a 270 gramos por persona por día, que la cantidad de orina es de 1 a 1.3 kilogramos por persona por día y que un 20% de materia fecal y un 2.5% de la orina son material putrescible; por consiguiente el agua residual doméstica cruda es putrescible, olorosa, ofensiva y un riesgo para la salud. Si se arrojan aguas crudas a un río o un cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de

asimilación de contaminantes del agua receptora, éste se verá disminuido en su calidad y su aptitud para los usos benéficos por parte del hombre.

El objetivo básico del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

El crecimiento de la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permita eliminar los riesgos para la salud, ya que todos estos desechos son vertidos a ríos o cuerpos de aguas receptoras generando el problema de la polución del agua estos se consideran receptores naturales de la aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes y estos constituyen el objeto de la regulación, por parte de la leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua. En la legislación colombiana está expresada en el Reglamento Técnico RAS-2000 y en el Decreto 1594 de 1984.

Según, Artículo 72 del Decreto 1594 de 1984, todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
Temperatura	≤ 40°C	≤ 40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción ≥ 80% en carga	Remoción ≥80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción ≥ 50% en carga	Remoción ≥80% en carga
DBO para desechos domésticos	Remoción ≥ 30% en carga	Remoción ≥80% en carga
DBO para desechos industriales	Remoción ≥ 20% en carga	Remoción ≥80% en carga

2.3 MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

2.3.1 Muestreo

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales o estándar, además esta requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global. Las muestras pueden ser simples o compuestas.

2.3.2 Recolección y Preservación de Muestras (Literal E.2.3 RAS – 2000).

2.3.3 Tipos de muestras

Muestra simple

Sólo representa la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos. Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales.

Las muestras instantáneas se usan para:

1. Determinar las características de descargas instantáneas, transientes y para identificar la fuente y evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento. Estas descargas son frecuentemente detectadas visualmente por el operador de la planta en sus rutinas diarias; la duración típica es desconocida.
2. Estudiar variaciones y extremos en un flujo de desechos en determinado periodo.
3. Evaluar la descarga si esta ocurre intermitentemente durante periodos cortos.
4. Determinar si la composición de la corriente para hacer el muestreo es razonablemente constante.

5. Determinar si los componentes por analizar son inestables o no pueden ser preservados.

Muestra compuesta

Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

Muestra integrada

Consisten en el análisis de muestras instantáneas tomadas en diferentes puntos simultáneamente o tan cerca como sea posible. La integración debe hacerse de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Las muestras integradas deben usarse en alguno o varios de los siguientes casos:

1. Caracterizar el caudal de un río, el cual varía su composición a lo largo de su trayecto y su ancho. Se toman varias muestras para diferentes puntos de sección transversal y se mezclan en proporción a los flujos relativos para cada sección.
2. Tratamientos combinados para diferentes corrientes de aguas residuales separadas.
3. Cálculo de las cargas (Kg. /d) de las sustancias contaminantes en la corriente de agua.

2.3.4 Metodologías de aforo

Según (Literal E.2.3.2 RAS – 2000) se recomienda las siguientes metodologías de aforo para la elaboración de muestreos compuestos:

Anemómetros (molinete)

Este dispositivo es de gran utilidad para el aforo de conductos forzados de gran diámetro o en corrientes naturales. Del conocimiento de la distribución de

velocidades en la sección se puede determinar la velocidad media, el caudal y algunos coeficientes de corrección.

Vertederos

Los vertederos pueden usarse en corrientes naturales de pequeña magnitud, en cuyo cauce pueda instalarse el vertedero. En corrientes de mayor magnitud, el vertedero puede ser una estructura hidráulica permanente para medición continua de caudales. Los vertederos deben calibrarse antes de utilizarlos.

Tubo Pitot

Tubo doblado de forma especial, que al igual que el molinete es útil para medir velocidades en una tubería.

Volumétrico

El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño.

Equipos electrónicos de aforo

Aquellos que sirven para medir el caudal utilizando sensores electrónicos del tipo Efecto Doppler para conductos parcialmente llenos, o sensores ultrasónicos de nivel en el caso de canales abiertos.

2.3.5 Preservativos

Ciertas características del agua, especialmente de aguas residuales industriales, requieren para su determinación apropiada, que se agreguen preservativos que impidan la alteración del parámetro que se quiere analizar. Los preservativos se agregan al recipiente de muestreo antes de obtener la muestra o inmediatamente después de tomarla.

2.3.6 Métodos de preservación

1. Control de pH

2. Adición de reactivos. Dependiendo de la naturaleza de los cambios que se den en la muestra colectada, los reactivos que se pueden agregar son: ácido nítrico. Algunos cationes pueden perderse por absorción o intercambio iónico con las paredes de los recipientes de vidrio. Entre estos se encuentran el aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc. En este caso, el ácido nítrico debe acidificar la muestra hasta un pH inferior a 2 para minimizar la precipitación y Acido sulfúrico: Para llevar hasta un pH menor de 2. Hidróxido de sodio. Para llevar a un pH mayor de 12.
3. Al emplear reactivos es importante tener en cuenta que estos no deben interferir los análisis deseados.
4. Uso de envases opacos o de color ámbar
5. Refrigeración
6. Filtración
7. Congelamiento

Algunos de los preservativos usados y de los tiempos de almacenamiento máximo para diferentes parámetros se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 3. Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras, (Tabla E.2.4 RAS2000)

Determinación	Recipiente	Tamaño mínimo de la muestra mL	Preservación	Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio)
Acidez	P, V (B)	100	Refrigerada	24 h/14 días
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerada	24 h /14 días
DBO	P, V	1000	Refrigerada	6 h / 48 h
Boro	P	100	No requiere	28 d / 6 meses
Bromo	P,V			28d / 28días
Carbón, orgánico, total	V	100	Analizar inmediatamente, o refrigerar y adicionar HCl a pH<2	7 d / 28 días
Dióxido de carbón	P,V	100	Analizar inmediatamente	stat/N.S
DQO	P, V	100	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2 ; refrigerar	7 d / 28días
Cloro residual	P, V	500	Analizar inmediatamente	0.5 h / stat
Dióxido de cloro	P, V	500	Analizar inmediatamente	0.5 h / N.S
Clorofila	P, V	500	30 días en la oscuridad	30 d / N.S
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h / 48 h
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d / 28 días
Cianuros 1) Totales 2) Factibles de ser tratados por cloración (Amenable to chlorination)	P, V P, V	500 500	Adicionar NaOH a pH>12 ; refrigerar en la oscuridad. Adicionar 100mg de Na ₂ S ₂ O ₃ /L	24 h / 14 días ; 24 h si hay sulfuro presente stat/14 días 24 h si hay sulfuro presente
Fluoruros	P	300	No requiere	28 d/ 28días
Dureza	P, V	100	Adicionar HNO ₃ a pH< 2	6 meses/ 6 meses
Yodo	P, V	500	Analizar inmediatamente	0.5 h / N.S
Metales	P(A),V(A)	300	Para metales disueltos filtrar inmediatamente ; adicionar HNO ₃ a pH < 2 Refrigerar	6 meses / 6 meses
1) Cromo +6 2) Cobre por colorimetría 3) Mercurio	P(A), V(A) P(A), V(A)	500	Adicionar HNO ₃ a pH<2, refrigerar a 4°C	24 h/ 24 h 28 d / 28 días

Tabla 3. (Continuación) Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras, (Tabla E.2.4 RAS2000)

Determinación	Recipiente	Tamaño mínimo de la muestra mL	Preservación	Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio)
Nitrógeno <i>Amonio</i>	P,V	500	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2 ; refrigerar	7 d / 28 dias
<i>Nitratos</i>	P, V	100	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	48 h / 48 h (28 dias para muestras cloradas ninguna / 28 dias
<i>Nitratos +Nitritos</i>	P, V	200	Adicionar H ₂ SO ₄ ; refrigerar	ninguno/ 48 dias
<i>Nitrito</i>	P, V	100	Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar	
<i>Nitrógeno total Kjeldahl (Orgánico)</i>	P, V	500	Refrigerar, adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2	7 / 28 dias
Olores	V	500	Analizar tan pronto como sea posible ; refrigerar	6 h/ N.S
Aceites y grasas	V, Boquilla amplia calibrada	1000	Adicionar H ₂ SO ₄ , refrigerar	28 d/ 28 dias
Compuestos orgánicos 1) <i>Pesticidas</i> 2) <i>Fenoles</i> 3) <i>Purgables por purga y trampa (purgeable for purge and trap)</i>	V(S), tapas de ploidetrafluo etileno)TFE lined cap P, V V, TFE lined cap	500 50	Refrigerar ; adicionar 1000 mg de ácido ascórbico/ L, si hay cloro residual presente	Hasta la extracción ; 40 dias después de la extracción - / 28 dias 7 d/ 14 dias
Oxigeno disuelto : <i>Método de electrodo</i> <i>Método de Winkler</i>	V, botella de DBO	300	Analizar inmediatamente. La titulación puede ser retrasada después de la acidificación	h / stat 8h / 8 h
Ozono	V	1000	Analizar inmediatamente.	0.5 h / N.S
pH	P, V		Analizar inmediatamente.	2 h / N.S
Fosfatos	V(A)	100	Para fosfatos disueltos, filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h /N.S

Tabla 3. (Continuación) Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras, (Tabla E.2.4 RAS2000)

Determinación	Recipiente	Tamaño mínimo de la muestra mL	Preservación	Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio)
Salinidad	V, sello de cera	240	Analizar inmediatamente o usar sello de cera	6 meses / N.S
Silice	P			28 d / 28 días
Gas de lodos digeridos	V, botella de gas		Refrigerar, no congelar	N.S
Sólidos	P, V		Refrigerar	7 d/2 - 7 días
Sulfatos	P, V			28 d / 28 días
Sulfuros	P, V	100	Refrigerar, adicionar 4 gotas Zinc 2N acetato/100 ml ; adicionar NaOH a pH>9	28 d 7 días
Sabor	V	500	Analizar tan pronto como sea posible ; refrigerar	24 h / N.S
Temperatura	P, V		Analizar inmediatamente	stat / stat
Turbidez	P, V		Analizar el mismo día	24 h / 48 h

Para determinaciones que no aparecen en la lista, use recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigeradas durante el almacenaje y análisis tan pronto como sea posible.

Refrigerada = almacenada a 4°C en la oscuridad. P = plástico (polietileno o equivalente). G = vidrio; G(A) o P(A) = enjuagadas con 1+1 HNO₃ ácido nítrico; G (B) = vidrio, borosilicate; G(s) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos; N.S = No está en la referencia citada; stat = El almacenamiento no está permitido; analizar inmediatamente.

2.4 Procesos del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales

Los procesos biológicos más comúnmente usados son:

- Procesos de lodos activados
- Lagunas aireadas
- Filtros percoladores
- Biodiscos
- Lagunas de estabilización

Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales.

2.4.1 Sistemas de Tratamiento en el Sitio de Origen

Los sistemas de tratamiento en el sitio son aquellos que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado, o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado. Para comunidades de más de 200 habitantes se deben hacer estudios y recopilar información necesaria.

2.4.2 Sistemas Centralizados

En los casos que no sea factible la utilización de sistemas de tratamiento en el sitio de origen, debido a la magnitud del volumen de las aguas residuales a tratar, se deben utilizar sistemas adecuados con mayor capacidad. Su selección queda al criterio del diseñador.

2.4.3 Pretratamiento

Tiene como objeto remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores o que, en algunos casos no pueden tratarse conjuntamente con los demás componentes del agua residual.

Debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento.

2.4.4 Sedimentación de Aguas Residuales

En el tratamiento de aguas residuales se usa la sedimentación para los siguientes propósitos:

- **Sedimentación Primaria** para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo así el contenido de sólidos suspendidos.

- **Sedimentación intermedia** para remover los sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios, como los filtros percoladores de primera etapa.
- **Sedimentadores Secundarios** para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y los filtros percoladores.
- **Sedimentadores Terciarios** para remover sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicamente, en plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.4.5 Tratamiento Biológico Aerobio

En los procesos de tratamiento aerobio el tratamiento se efectúa en presencia de oxígeno.

2.4.6 Tratamiento Biológico Anaerobio

El tratamiento anaerobio es el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes (SO_4 , NO_3 , etc.). Como subproducto de ella se obtiene un gas, denominado usualmente biogás, cuya composición básica es metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 en un 95%, pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, usualmente en proporciones inferiores al 1%.

Tabla 4. Principales procesos de tratamiento biológico (Romero J, 1999)

Tipo	Crecimiento	Proceso	Uso principal
Aerobios	Suspendido	Lodos activados	Remoción de DBO y nitrificación
		Lagunas aireadas	Remoción de DBO y nitrificación
		Digestión aerobia	Remoción de DBO – estabilización
		Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación
	Adherido	Filtros percoladores	Remoción de DBO y nitrificación
		Torres biológicas	Remoción de DBO y nitrificación
		Unidades rotatorias de contacto biológico	Remoción de DBO y nitrificación
		Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO y nitrificación
Anóxicos	Suspendido	Bardenpho	Remoción de DBO, N y P
	Adherido	Desnitrificación	Remoción de nitrógeno
Aerobios	Suspendido	Digestión anaerobia de contacto	Remoción de DBO-estabilización
			Remoción de DBO
Tipo	crecimiento	Proceso	Uso principal
Anaerobios	Hibrido	Laguna anaerobias	Remoción de DBO – estabilización
		Manto de lodos – flujo ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO y SS
	Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO – estabilización
		Lecho expandido	Remoción de DBO – estabilización

2.4.7 Generalidades de Filtros Percoladores

El concepto del filtro percolador nació del uso de los filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra machacada. En su funcionamiento, el lecho de contacto se llenaba con el agua residual desde la parte superior y se dejaba que se pudiese en contacto con el medio durante un

corto período de tiempo. El lecho se vaciaba a continuación y se le permitía que reposara antes de que se repita el ciclo. Un ciclo típico exigía 12 horas de las cuales había 6 horas de reposo. El proceso estaba limitado por la alta frecuencia de taponamiento y el largo periodo de reposo requerido, así como por la carga hidráulica tan baja que podía usarse, (METCALF & EDDY, 1998). El primer filtro percolador fue puesto en operación en 1893, en Inglaterra; en Estados Unidos la primera planta municipal de filtros percoladores data de 1908, (Romero J, 1999)

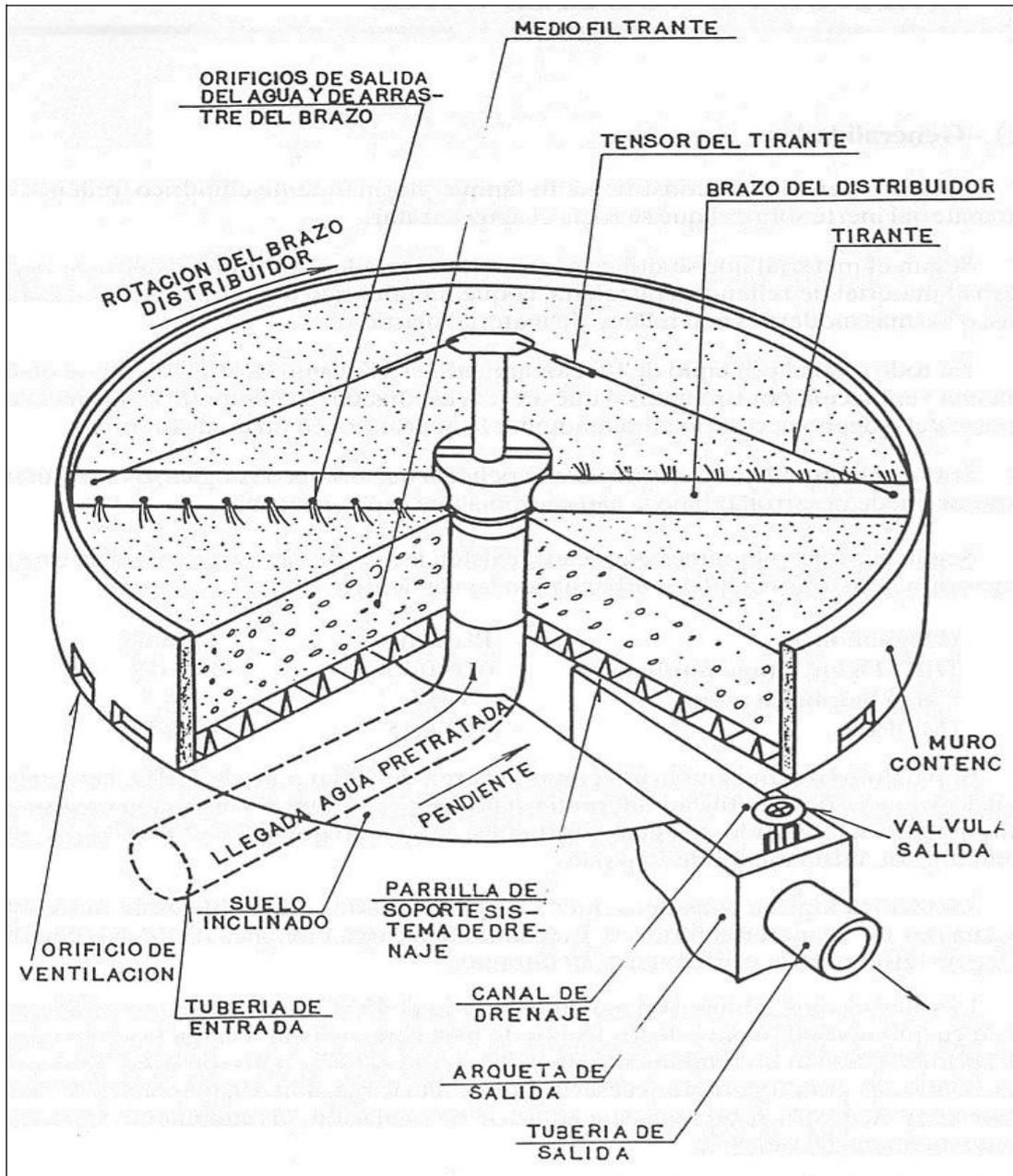
El filtro percolador o biofiltro es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales. El filtro biológico no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica, como se muestra (figura 2).

Un filtro percolador tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domesticas o industriales. Consiste en un lecho de piedras, u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas residuales, con el consecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiológicas sobre el lecho.

En un filtro percolador, las aguas residuales se riegan sobre el lecho filtrante y se dejan percolar. El lecho del filtro percolador consiste en un medio altamente permeable, al cual se adhieren los microorganismos y a través del cual el residuo líquido se infiltra. Usualmente el medio es piedra de tamaño cambiante entre 2,5 y 10 cm., profundidad variable según el diseño, generalmente 1 a 2,5 m, en promedio 1,8 m. Ciertos filtros percoladores usan medios filtrantes plásticos con profundidades de 9 – 12m. Actualmente el lecho del filtro es circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio, antes el lecho era rectangular y el agua residual se distribuía mediante boquillas rociadoras fijas, cada uno de los filtros posee un sistema de desagüe inferior el cual recoge el agua tratada y los sólidos biológicos que se han separado del medio, este sistema de desagüe es

importante tanto como instalación de recogida como por su estructura porosa a través de la que el aire puede circular.

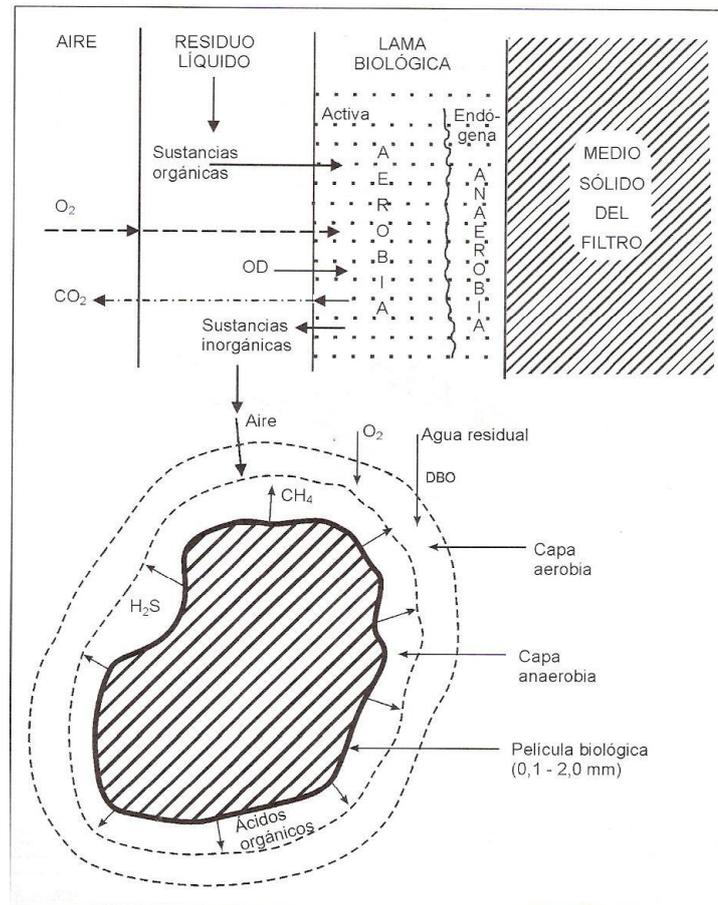
Figura 2. Esquema Filtro Percolador, (Romero J, 1999)



La materia orgánica que se halla presente en el agua residual es degradada por la población de microorganismos adherida al medio, esta materia es adsorbida sobre una capa viscosa (película biológica), en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios, a medida que los

microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película, por lo que se establece un medio ambiente anaerobio, cerca de la superficie del medio, conforme esto ocurre la materia orgánica adsorbida es metabolizada antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. Como resultado de no disponer de una fuente orgánica externa de carbón celular, los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se hallan en la fase endógena de crecimiento, en la que pierden la capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones el líquido a su paso a través del medio filtrante arrastra la película y comienza el crecimiento de una nueva, esta pérdida de la película es función de la carga hidráulica y orgánica del filtro, donde la carga hidráulica origina las velocidades de arrastre y la orgánica influye en las velocidades del metabolismo de la película biológica (ver figura 3), con base a estas cargas hidráulica y orgánica así como por sus principales características físicas; los filtros pueden dividirse en dos tipos: de baja y alta carga.

Figura 3. Esquema de la película biológica en un filtro percolador, (Romero J, 1999)



La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de protistas, incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. Suelen también encontrarse algunos animales superiores como gusanos, larvas de insectos y caracoles.

Los microorganismos predominantes en el filtro percolador son las bacterias facultativas, las que con las bacterias anaerobias y aerobias, descomponen la materia orgánica del agua residual, los hongos son los causantes de la estabilización del agua residual, pero su contribución es importante solo a un pH bajo o con ciertas aguas residuales industriales, las algas crecen únicamente en las capas superiores del filtro a donde llega la luz solar, esta es la razón por la que las algas no toman parte directa en la degradación de residuos, pero durante el día añaden oxígeno al agua residual que se está filtrando, sin embargo, desde el punto de vista operacional las algas pueden

causar el taponamiento de la superficie del filtro por lo que se consideran un estorbo. De los protozoos que se encuentran en el filtro los del grupo ciliata son los predominantes; su función no es estabilizar el agua residual sino controlar la población bacteriana. Los animales superiores se alimentan de las capas biológicas del filtro, ayudando así a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o rápida utilización del alimento.

La unidad de sedimentación es muy importante en el proceso del filtro percolador, pues es necesaria para eliminar los sólidos suspendidos que se desprenden durante los períodos de descarga en los filtros, si se utiliza recirculación parte de estos sólidos sedimentados pueden ser recirculados y la otra parte dispuesta. Sin embargo, la recirculación en filtros percoladores no es requisito esencial, aunque ayuda a la siembra y maduración del filtro y, por lo regular, mejora la eficiencia del filtro. Los objetivos principales de ésta son disminuir las aguas residuales y hacer que el efluente del filtro se ponga en contacto de nuevo con la población para el tratamiento adicional, la recirculación casi siempre forma parte de los sistemas de filtros percoladores de alta carga.

La recirculación en filtros percoladores de piedra aumenta la eficiencia en remoción de DBO por diferentes razones:

- La materia orgánica del efluente recirculado del filtro tiene contacto más de una vez con la biomasa, aumenta la eficiencia del contacto y permite sembrar el filtro a lo largo de su profundidad, con una mayor variedad de organismos.
- Si el caudal recirculado pasa a través del tanque de sedimentación sirve para amortiguar las variaciones en carga orgánica aplicada al filtro, diluye la concentración del agua residual afluyente y mantiene el filtro en mejores condiciones durante los periodos de variación de carga. Sin embargo, puede afectar la eficiencia si sobrecarga el sedimentador.

- La recirculación a través del sedimentador primario refresca el agua residual séptica y reduce la formación de espumas; remueve lodo del sedimentador secundario y reduce la demanda de oxígeno del efluente de la planta. Sin embargo, puede sobrecargar el sedimentador primario.
- La recirculación mejora la distribución sobre la superficie del filtro, reduce la tendencia al taponamiento y ayuda a controlar las moscas. Además, incrementa la eficiencia al reducir el cortocircuito gracias a un mejor efecto de remojo del filtro.

2.4.8 Clasificación de Filtros Percoladores

En filtros percoladores se define la carga hidráulica como el volumen total de líquido, incluyendo recirculación, por unidad de tiempo por unidad de área superficial de filtro. Se expresa generalmente en $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$. Además se acostumbra expresar la carga orgánica como la relación de la carga de DBO por unidad de tiempo y por unidad de volumen de filtro ($\text{Kg. DBO}/\text{m}^3\text{m}^2 \text{ d}$), sin incluir la carga orgánica recirculada.

Los filtros percoladores se clasifican, según su carga hidráulica y su carga orgánica en dos tipos:

- Filtro de alta carga
- Filtro de baja carga

Filtros de Alta Carga

Emplean la recirculación para crear una carga hidráulica más homogénea, diluyendo por otra parte la DBO_5 influente. El porcentaje de recirculación puede llegar a 400%. Este sistema de filtración tiene una eficiencia tan buena como la de los filtros de baja tasa, y evita en gran medida el problema de moscas y de olores (Literal E.4.6.3.5 RAS – 2000).

Filtros de Baja Carga

Filtros lentos en los cuales el agua hace un solo paso a través del filtro, con cargas volumétricas bajas, permitiendo además una nitrificación relativamente completa. Este tipo de filtro es seguro y simple de operar. Producen una composición del efluente bastante estable, pero crean problemas de olores y moscas (Literal E.4.6.3.5 RAS – 2000).

2.5 Sistemas de Filtros Percoladores

La posibilidad de construir plantas de Filtros Percoladores de una o de dos etapas, con sedimentador intermedio o sin él, de combinar los biofiltros con otros procesos y de utilizar múltiples esquemas de recirculación, hace factible formular muchos esquemas diferentes de sistemas de tratamiento con Filtros Percoladores o Biofiltros. En filtros de piedra la magnitud de la recirculación y no el arreglo es la variable importante.

Los esquemas preferidos, en la actualidad, son los de recirculación de efluente de Filtro Percolador directamente a la cabecera del filtro percolador para plantas de una sola etapa, plantas de dos Filtros Percoladores en serie y plantas de Filtros Percoladores de dos etapas, (Ver esquemas Figura 3).

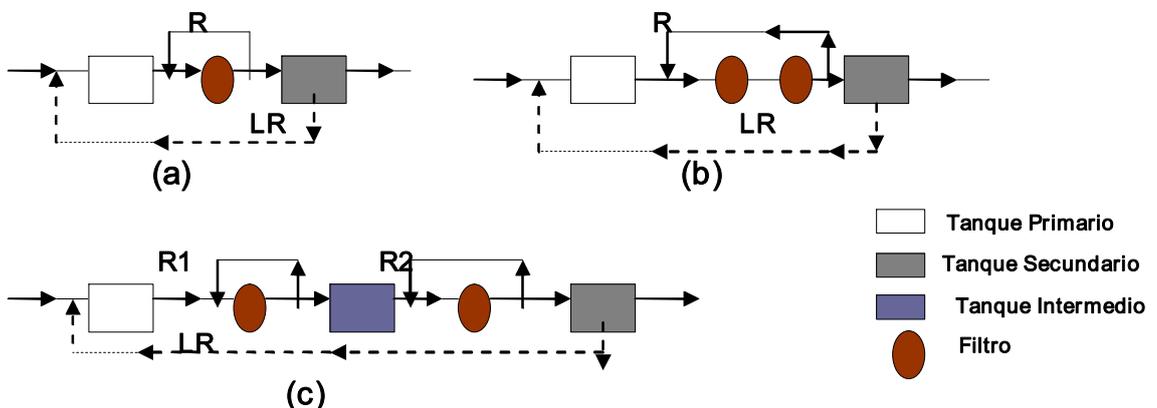


Figura 4. Esquemas de Recirculación en filtros percoladores, (Romero J, 1999).

El esquema (a) de la figura 4. Tiene poca capacidad de amortiguamiento de cargas orgánicas fluctuantes. Recircula directamente biomasa al filtro, recircula lodos secundarios mediante un sistema de bombeo independiente.

El esquema (b) no tiene sedimentador intermedio, lo que favorece una mayor actividad biológica en el segundo biofiltro. Recircula lodo al sedimentador primario.

El esquema (c) diseño muy usado. Es una planta de 2 etapas de filtros percoladores en serie con recirculación de efluente de cada filtro al mismo filtro y recirculación de lodos al sedimentador primario.

2.6 Lodos Residuales

Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento.

2.6.1 Tipos de Lodos

Los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de agua son principalmente los siguientes:

- Lodo Primario proveniente de la sedimentación de aguas residuales.
- Lodo Secundario proveniente del tratamiento biológico de aguas residuales.
- Lodos Digeridos proveniente de los dos anteriores, separados o mezclados.
- Lodos de la coagulación y sedimentación de aguas y aguas residuales.
- Lodos provenientes de plantas de ablandamiento
- Lodos provenientes de desarenadores y rejillas.

2.6.2 Características de Los Lodos

Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1 – 6%); por ello, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. Los lodos provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda.

2.6.3 Disposición Final

Todos los niveles de complejidad deben contemplar el manejo de lodos en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Para esto, deben presentarse balances de masa de los procesos con los trenes de tratamiento de agua y lodos. Los efluentes líquidos del tren de lodos deben integrarse en los balances de masa del tren líquido. Además deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- No deben descargarse dichos efluentes a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- Los lodos primarios deben estabilizarse.
- Se debe establecer un programa de control de olores.
- Se debe establecer un programa de control de vectores.

2.7 Operación y Mantenimiento de los procesos de Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales solo puede cumplir su objetivo, si se opera en forma apropiada y se efectúa un mantenimiento periódico, por medio de personal calificado. La frecuencia y la magnitud de este mantenimiento se rigen por el tipo y el tamaño de la planta. La operación y el mantenimiento, incluida la disposición de los lodos, deben seguir las instrucciones entregadas por parte del diseñador o del fabricante, en concordancia con la normatividad ambiental vigente.

Estas deben ser detalladas, de fácil proceso y corresponder al sitio específico. Deben describirse la frecuencia y el alcance de los trabajos de rutina, así como las medidas necesarias para el mantenimiento de todos los componentes de la planta, incluido el control de su grado de rendimiento. Deben existir los equipos necesarios para efectuar el mantenimiento. El objetivo del mantenimiento es garantizar la operación y la seguridad. Deben eliminarse de inmediato las obstrucciones, la formación de nudos, sedimentaciones, fugas, y repararse los

daños en las construcciones o la maquinaria. La operación y el mantenimiento deben efectuarse de modo tal, que no presenten ningún peligro o molestias para los seres humanos, ni el ambiente.

Se tiene que contar con equipos de laboratorio que permitan determinar las características esenciales de operación, hacer los ajustes requeridos y controlar la calidad del efluente.

El sistema de tratamiento debe estar en capacidad de operar continuamente, aun en los casos en que sea necesario sacar de operación un equipo para su mantenimiento o reparación.

3.0 METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir a cabalidad con cada uno de los objetivos propuestos, que nos permitieran una Evaluación técnica completa y detallada del sistema de tratamiento de ARD en estudio, se siguió la siguiente metodología:

3.1 DIAGNÓSTICO

- ✿ Se revisaron textos y publicaciones relacionados con el manejo de ARD por el proceso de Biofiltros o Filtros Percoladores, documentos públicos y privados del Departamento, decretos, leyes, tesis de grado, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Corozal, paginas Web entre otros.
- ✿ Se realizó un reconocimiento y levantamiento de toda la infraestructura que conforma la PTAR existente así como la zona aledaña a la planta; inspeccionándose el sitio de descarga del efluente de ARD al arroyo Grande de Corozal; en general se identificaron las estructuras ingenieriles pertinentes al proyecto.
- ✿ Se investigo sobre la existencia o no, de documentos, especificaciones, planos, memorias y manual de operación de la PTAR.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

3.2.1 Estudio de los Componentes Hidráulicos y Estructurales de la PTAR y el Área Circundante en General.

Se verificó el estado de las estructuras hidráulicas, acometidas e instalaciones eléctricas y las obras estructurales que conforman la PTAR.

- ✘ Se midieron con cinta métrica las dimensiones de las estructuras que conforman la PTAR.

- ✘ Debido a que en una de las etapas de diagnóstico sólo se recopiló un plano con vista en planta, sin escala y desactualizado de la PTAR, fue necesario realizar el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico con Estación Total y Prisma del área de estudio (Anexo A), con el que posteriormente se realizaron planos digitales de la zona. Estos contienen información de la PTAR existente, relacionando(Anexo H):
 - ↗ Dimensiones de los sedimentadores, filtros percoladores, casetas de recirculación y bombeo de AR, registros y estructura de eras de secado de lodo.
 - ↗ Curvas de nivel del área de estudio.
 - ↗ Flujos de aguas del área de estudio.
 - ↗ Límites con el Arroyo Grande de Corozal.
 - ↗ Ubicación de postes, conductos, árboles, carreteable y puntos de muestreo de AR y suelos.

- ✘ Se llevó a cabo el estudio de suelos con la asesoría y colaboración del Laboratorio de Suelos de la Universidad de Sucre. (Anexo A).

- ✘ Se realizó en el Laboratorio de Suelos la granulometría del manto del lecho filtrante así como la determinación de la densidad de las piedras, con la colaboración de los docentes en el área de laboratorio de suelos.

3.2.2 Estudio del Afluente de ARD y Cuerpo de Agua Receptor

- ✖ Se determinó el caudal del afluente de ARD que llega a la planta por medio de un aforo volumétrico de 24 horas (Anexo A), determinando la curva de consumo diario de agua y la curva de generación diaria de AR.

- ✖ Se llevó a cabo el muestreo del afluente de ARD de la PTAR y el cuerpo de agua receptor (Arroyo Grande de Corozal), (Anexo A) con el fin de determinar las características físico – químicas y microbiológicas del AR; éste se realizó al tenor de la sección E.2.3 RAS – 2000. Se realizaron manualmente 5 muestreos (muestras simples y preservadas) de AR de las cuales; 3 muestreos fueron hechos en el colector final adyacente a la planta y 2 muestreos así: 1 muestreo aguas arriba y otro aguas abajo de la PTAR en el arroyo Grande de Corozal (Anexo A); además se determinó in situ algunos parámetros físico – químicos y se realizaron aforos volumétricos en cada uno de los puntos de muestreo. Una vez tomadas las muestras se refrigeraron inmediatamente para su posterior envío al Laboratorio de la empresa Aguas de Cartagena en la ciudad de Cartagena quien se encargó del análisis físico – químico y microbiológico de las muestras.

- ✖ Se realizó un inventario de los registros colectores de ARD existente en el Batallón, con el objetivo de observar las características del AR afluente, se midió in situ: Oxígeno disuelto, conductividad, y salinidad con el fin de comparar valores con el afluente final que llega a la PTAR, además se describió las condiciones hidráulicas de los registros: Número de vertimientos, origen de vertimientos, clase y diámetros de tubos, entre otros.

3.3 TRABAJO DE OFICINA

Recopilada toda la información de los diferentes estudios, se organizó en tablas, gráficos, planos etc. Y nos permitió tener una visión más clara del estado de la PTAR, y su influencia ambiental en toda el área circundante en especial el arroyo Grande de Corozal como cuerpo receptor del efluente de la PTAR.

- iii Se evaluó el estado actual de la PTAR, describiéndose las causas más importantes de in operabilidad de ésta, además se realizó un diagnóstico del sistema de tratamiento existente frente a especificaciones técnicas de normatividad vigente (RAS 2000)
- iii Con base a los resultados y análisis de estos se recomendaron estructuras que complementen el sistema de tratamiento existente para la futura rehabilitación de la PTAR así como algunas disposiciones ambientales que optimicen el sistema de tratamiento de aguas residuales existente y el área circundante en general.

4.0 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRIMERA BRIGADA DE INFANTERIA DE MARINA BRIM - 1

La planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM - 1, se encuentra localizada a una distancia de 1000 m aproximadamente de la entrada del batallón en la parte posterior de este.

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en estudio se clasifica dentro de los diversos procesos de tratamiento de ARD como: **Tratamiento Biológico** de tipo **Aerobio** y crecimiento **Adherido**, el proceso de este tratamiento biológico es el de **Filtros Percoladores de Alta tasa** de dosificación **continua** y calidad del efluente **no nitrificado** cuyo uso principal es: **Remoción de DBO**.

Inicio su funcionamiento en el año de 1998 con un caudal de diseño de $9 \frac{It}{s}$, la planta funciona bajo responsabilidad de la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM-1

Teniendo en cuenta los diferentes procesos y operaciones para el tratamiento de aguas residuales, a continuación describimos los que se dan en la PTAR en estudio:

Tratamiento Preliminar

En el tratamiento preliminar, la planta sólo cuenta con una cámara rectangular para la homogeneización de caudales y calidad del agua cruda, su función es disminuir las variaciones de caudal para que este sea más constante y tenga las mismas características en todos los puntos de la PTAR en cuanto a materia

orgánica, nutrientes etc. y de esta forma, mejorar la eficiencia y calidad del efluente. La importancia de ésta cámara es evitar los problemas operacionales causados por las variaciones de caudal. Posee unas dimensiones de $2.6m \times 1.1m$ y una altura de $2.0m$ con un espesor de $0.16m$, (Ver fotografías).

Es de notar que esta cámara tiene unas rejillas con barras de $\frac{5}{8}$ " de diámetro, unidas a la tubería efluente de 8" de diámetro ésta con el fin de retener los sólidos de gran tamaño.



Fotografía 1. Cámara de Igualamiento De Caudales.



Fotografía 2. Detalle interno de la Cámara.

🗑️ Tratamiento Primario

El tratamiento primario se da en tanques que pueden ser rectangulares o circulares, en este caso los tanques son de forma rectangular, su función es remover los sólidos sedimentables y material flotante de las aguas residuales crudas provenientes de la Cámara de Igualamiento de Caudales; reduciendo así el contenido de sólidos suspendidos .

En la planta de tratamiento de aguas residuales del Batallón, el tratamiento primario se hace en 2 tanques rectangulares que trabajan en paralelo en los cuales el agua residual cruda ingresa a estos; a través de unas tuberías en PVC de 8" de diámetro, cerca de la superficie del extremo de la entrada de los tanques, y se mueve a lo largo de éstos con velocidad muy baja hasta

descargar por el extremo opuesto a través de un vertedero. A la entrada, una pantalla en madera disipa la velocidad del afluente y dirige el flujo hacia abajo. El material sólido suspendido sedimentable se deposita en el fondo del tanque y es arrastrado hasta un registro rectangular que funciona como cárcamo de succión de lodos ubicado en el punto mas bajo, en el extremo de entrada por acción de la pendiente provista en el fondo.

El lodo se extrae periódicamente del punto de acumulación por bombeo, para el manejo y disposición en los lechos de secado de lodos. Los sólidos de mayor tamaño que flotan en el agua residual sedimentada son removidos manualmente

El conjunto de los tanques sedimentadores primarios tiene una dimensiones de $2.5m \times 5.25m$ y profundidad de agua de 4m con un borde libre de 60 cm. Posee un muro central con un espesor de 27 cm. que divide la cámara en 2 sedimentadores. Con pendiente suave hacia el punto de acumulación de lodos y están contruidos en concreto reforzado, como se muestra en las fotografías.



Fotografía 3. Vista externa de los Sedimentadores Primarios.



Fotografía 4. Vista interna.

Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario de la PTAR, está constituido por la combinación de Filtros Percoladores con Sedimentadores Secundarios, también rectangulares.

Los Filtros percoladores remueven la DBO soluble de las AR que no se puede remover en los sedimentadores primarios así como también cantidades de sólidos suspendidos, luego de darse este tratamiento las AR pasan a los Sedimentadores Secundarios cuya función principal es remover biomasa y sólidos suspendidos de los Filtros Percoladores. La PTAR posee 2 filtros percoladores o biofiltros que trabajan en paralelo con diámetros de $6.04m$ y $6.53m$ respectivamente, un espesor de $14cm$ y altura de $2.45m$ en ambos; este es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales. El filtro percolador es usualmente circular con distribuidor rotatorio superficial del agua (flauta), también los hay rectangulares; en nuestro caso los filtros percoladores son circulares, constituido por un lecho de piedras (Pórfido Granítico, Gneis entre otras), el cual tiene un espesor de $1.55m$. Estas piedras poseen en su mayoría un tamaño de $3''$. El agua residual sedimentada es bombeada y llega al centro del filtro por un tubo en Hierro Galvanizado de $3''$ de diámetro, ésta se riega al lecho a través de un distribuidor rotatorio (Flauta) que posee unos orificios de $12mm$ de diámetro espaciados cada $17cm$ Centro a centro en toda la longitud del brazo, (Ver Fotografías).



Fotografía 5. Filtros Percoladores



Fotografía 6. Vista interna de uno de los Filtros.

El sistema de rotación esta montado sobre 2 balineras que tienen la función de unir una parte fija (Tubería afluente) con una parte móvil (Brazo Distribuidor), además este enlace posee un sello que garantiza que no halla filtraciones de agua residual (Onry), (Ver Fotografía).



Fotografía 7. Detalle interno del Sistema De Rotación.

Posee un sistema de drenaje inferior para recoger el agua residual tratada y los sólidos biológicos que se desprenden del medio. El sistema de drenaje es de gran importancia ya que además de recolectar el AR biofiltrada, actúa como estructura porosa, a través del cual circula el aire.

Los filtros percoladores existentes en la PTAR se clasifican como filtros de Alta Tasa ya que poseen recirculación para aumentar la eficiencia en la remoción de DBO, la recirculación se origina en los sedimentadores secundarios transportando lodos secundarios con caudal de agua proveniente de los sedimentadores primarios hasta llegar a los Biofiltros.

La estructura de los sedimentadores secundarios es muy similar a la de los sedimentadores primarios tiene unas dimensiones de $2.94m \times 6.42m$ y una profundidad de agua de $4m$ y borde libre de $0.6m$, posee un muro central con un espesor de $27cm$ que divide la cámara en 2 sedimentadores, construidos en concreto reforzado, (Ver fotografía).

Estos sedimentadores se construyeron con una profundidad considerable con el objetivo de mejorar su eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos sedimentables por aglomeración.

Al igual que el sedimentador primario se buscó incrementar su rendimiento mediante pantallas interiores en madera colocadas para disminuir la velocidad

de ingreso del agua y para que el lodo se desvíe hacia el fondo, mediante una pendiente suave que los arrastra hasta un registro rectangular que funciona como cárcamo de succión de lodos ubicado en el punto mas bajo, en el extremo de entrada donde se extrae periódicamente por bombeo para el manejo y disposición en el lecho de secados de lodos.

El caudal efluente del sedimentador secundario se divide por medio de una Tee en PVC, una parte del caudal llega al proceso de desinfección por medio de una tubería en PVC de Diámetro 2" y la otra parte se recircula por una tubería en PVC de Diámetro 1½" a los Biofiltros.



Fotografía 8. Vista externa de los Sedimentadores Secundarios.



Fotografía 9. Vista interna Sedimentadores Secundarios.

🚰 Desinfección

El proceso de desinfección que posee la planta se realizó con el objetivo de entregar un efluente libre de bacterias y virus de origen fecal, y así entregar un efluente con características y calidad aceptable al cuerpo receptor conformado por el arroyo Grande de Corozal.

Este proceso se hace en una cámara rectangular de 4.16m x 4.63m dividida en

dos secciones en las cuales se da por separado el proceso de desinfección; está provista de unos tabiques de 7cm de espesor, una longitud de 1.45m y una separación entre ellos de 25cm , los cuales tienen la función de bajar la velocidad del afluente proveniente de los sedimentadores secundarios el cual llega por tubos de $2''$ para que el desinfectante que en este caso, es cloro líquido tenga más tiempo de contacto y aumente su efectividad con el agua residual, (Ver fotografía).



Fotografía 10. Cámara de Desinfección

Fotografía 11. Detalle de los Tabiques.

El cloro líquido es adicionado al agua residual por medio de goteo que sale por tubos de $\frac{1}{2}''$ de Diámetro; cae por vertedero libre y se produce un resalto hidráulico, esto hace que el cloro se homogenice mejor con el agua residual, el proceso de dosificación de cloro se hace a través de un inyector - dosificador de cloro (CHEM FEED) el cual envía a la cámara de desinfección la mezcla dosificada que se da en tanques plásticos como se muestra en la fotografía.



Fotografía 12. Sistema de dosificación de Cloro.

Fotografía 13. Dosificador de Cloro.

De esta manera el agua del efluente de la cámara de desinfección debe salir

con unas características que cumplan con los estándares y criterios de calidad establecidos en el Decreto 1594 del 1984 y de esta forma garantizar que el cuerpo de agua receptor le llegue una descarga que no sea perjudicial para este.

☞ Manejo de Lodos

El manejo de los lodos generados en los sedimentadores se hace por medio de un lecho de secado de lodos de arena, siendo este, según (Romero j, 1999) uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural, y es además el método más usado en plantas pequeñas para el secado de lodos durante los últimos cien años.

El lecho de secado de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Batallón, es un lecho típico de arena de forma rectangular poco profundo, dividido en dos sectores uno para los lodos provenientes de los sedimentadores primarios y otros para los lodos de los sedimentadores secundarios, (Ver fotografía).



Fotografía 14. Eras de Secado de Lodos.

El lodo entra por 2 tuberías en PVC de 3" que finaliza en una Tee para distribuir los lodos por todo el área del lecho de secado de lodos, este está

compuesto por una capa de arena de 20cm de espesor en el cual se deja secar el lodo, parte del agua contenida en el lodo de la superficie se evapora por acción del sol y del viento el resto del agua se percola a través del lodo, pasando por la capa de arena y luego a la capa de grava la cual tiene un espesor de 20cm, por ultimo el agua sale por un sistema de drenaje que se comunica con unas tuberías que hacen su disposición final de lodos en el tanque de desinfección, (Ver fotografías).



Fotografía 15. Tees de distribución de lodos al lecho de secado de lodos.



Fotografía 16. Orificios de drenaje del lecho.



Fotografía 17. Canal de drenaje del Lecho de secado de lodos.



Fotografía 18. Capas de Arena y Grava Que conforman el lecho de lodos.

El lodo seco es removido manualmente agregándole cal hidratada para que eleve su pH por encima de 12 con el objetivo de inactivar los microorganismos.

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE ARD DE LA PTAR

El agua residual cruda generada en el Batallón es conducida por el respectivo emisario, ingresa a un registro constituido por una caja cuadrada de dimensiones de $1.55m \times 1.55m$ por 1.7m de altura, luego pasa a una cámara rectangular donde se da el proceso de igualamiento de caudales y calidad del agua cruda, mediante una estructura hidráulica conformada por 2 válvulas de compuerta en hierro, de diámetro nominal DN = 8" el agua residual pasa a la fase primaria de sedimentación (sedimentadores primarios) el tiempo de retención hidráulica que se da en esta fase se desconoce debido a que la PTAR no está en operación, adyacente a los sedimentadores se encuentra ubicada una caseta de bombeo de dimensiones $4.43m \times 4.45m$ y altura de 6 m (ver fotografías).



Fotografía 19. Caseta de Bombeo 1 adyacente a los sedimentadores primarios.



Fotografía 20. Válvulas que controlan el paso del AR a los sedimentadores primarios.

Inicialmente el agua tratada en los sedimentadores era bombeada con una succión positiva a los filtros percoladores mediante unos equipos Hidroneumáticos Tipo vertical Cargado, de los cuales no se encontró ninguna marca de fábrica ni especificaciones técnicas que nos permitiera conocer el caudal y la presión de bombeo con que ellos operaban. Los equipos hidroneumáticos eran alimentados mediante compresores marca siemens de 2

Hp (Caballos de Potencia) y 60 Hz, los cuales enviaban aire a los Hidroneumáticos, el aire comprimía el volumen de agua que ingresaba a los equipos hasta el punto de impulsar el agua con una cabeza de presión tal, que llegara a los filtros percoladores (Ver fotografía), los sólidos sedimentados (Lodos) se bombeaban al lecho de secado de lodos con un equipo similar al descrito anteriormente.



Fotografía 21. Equipos Hidroneumáticos bombean el AR a los filtros percoladores.



Fotografía 22. Compresor y tanque dosificador de aire.

El agua tratada en cada uno de los filtros percoladores fluía por gravedad hacia los sedimentadores secundarios donde se completaba el tratamiento secundario; a lado y lado de los sedimentadores secundarios se encuentran 2 casetas de bombeo una con dimensiones de $4.25m \times 6.4m$ y 6 m de altura y la otra con dimensiones de $4.75m \times 4.44m$ y 6 m de altura, (Ver fotografía).



Fotografía 23. Casetas de bombeo 2 y 3 adyacentes a los sedimentadores secundarios.

Una parte del caudal de AR se recirculaba hacia los filtros percoladores empleando equipos similares a los utilizados en los sedimentadores primarios

para el bombeo de agua, y la otra parte del caudal era enviada a la cámara de desinfección. Los lodos producidos eran bombeados de la misma forma que los generados en los sedimentadores primarios, (Ver fotografía).



Fotografía 24. Equipos recirculadores de AR.

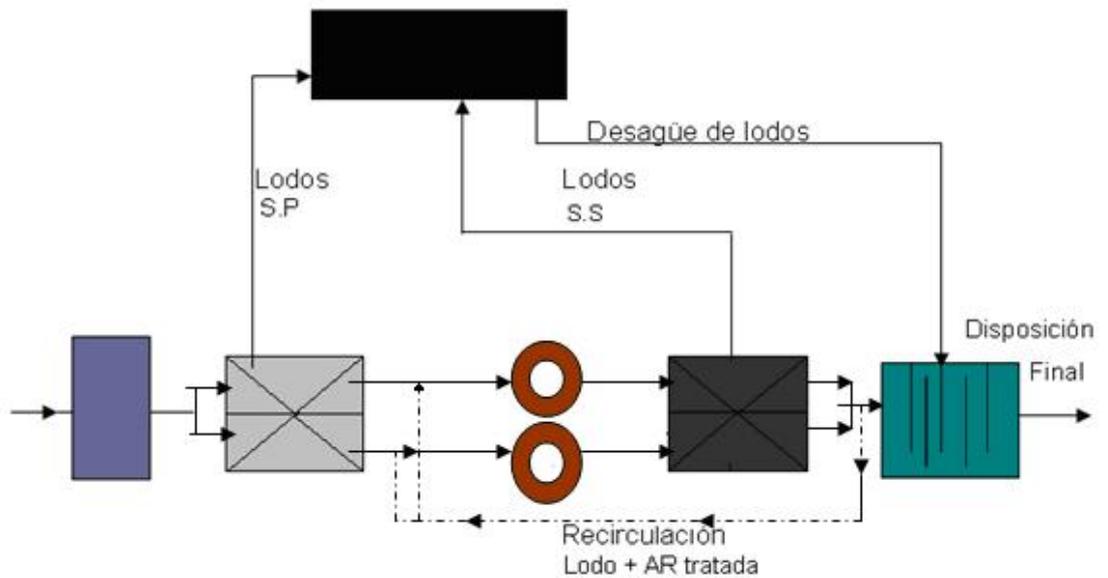


Fotografía 25. Equipos de recirculación de lodos.

Finalmente el sistema de tratamiento culmina con el proceso de desinfección, en este, el sistema de dosificación de cloro se encuentra ubicado en una de las casetas de bombeo adyacente a los sedimentadores secundarios. El agua desinfectada llega a un registro rectangular de dimensiones $1.02m \times 1.89m$ y 2 m de altura, luego fluye por gravedad a través de una tubería en PVC de 6" hasta descargar al cuerpo receptor (Arroyo Grande de Corozal).

Hay que aclarar que en ninguno de los procesos donde se bombeaba o recirculaba agua se determinó el caudal respectivo por las condiciones de inoperabilidad de la PTAR, así como los diferentes tiempos de retención hidráulica en cada uno de los procesos de tratamiento.

En la siguiente figura se esquematiza el proceso de la PTAR en estudio.



- Tanque Igualamiento de Caudales
- Sedimentadores Primarios
- Filtros Percoladores
- Sedimentadores Secundarios
- Cámara de Desinfección
- Eras de Secado de Lodos

Figura 5. Esquema del Proceso de la PTAR en estudio.

5.0 RESULTADOS, EVALUACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

5.1.1 TOPOGRAFIA

Topográficamente se puede decir que el relieve presente en la zona cuenta con variaciones considerables; el terreno a los alrededores de la planta presenta inclinaciones que en temporadas de lluvias dirigen la esorrentía hacia el interior de esta; debido a esta razón hubo la necesidad de construir una obra que contuviera y a la vez redirigiera el flujo proveniente de la parte alta hacia otro lugar (Ver foto 26 – 27).

El área propia de la estructura hidráulica es relativamente plana, con una inclinación que favorece en importancia la regulación de las velocidades que debe mantener el flujo de aguas en las obras de remoción de los sólidos (sedimentadores primarios y secundarios) y en la desinfección. (Ver fotos 28 – 29).

Con toda la información recopilada en campo se procedió a la construcción y digitalización de registros planimétricos y altimétricos de la zona de estudio, en esto se resume ubicación geográfica de la planta, diferencias de nivel, flujos de agua, (Anexo H).



Fotografía 26. Vista de las variaciones del relieve a los alrededores de la PTAR.



Fotografía 27. Vista de la obra de contención alrededor de la PTAR.



Fotografía 28. Vista del relieve al interior de la PTAR.



Fotografía 29. Descarga de los Biofiltros a los sedimentadores por acción de la gravedad.

5.1.2 LEVANTAMIENTO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL BATALLON DE INFANTERIA DE MARINA Nº 1

Topografía

El relieve al interior del Batallón es en general de pendientes suaves con ligeros cambios de nivel, que favorecen el flujo por gravedad tanto de agua potable como el de las aguas residuales domesticas. Esta morfología local permite el libre transporte de dichas aguas entre los colectores secundarios y el colector final, de igual manera es el flujo de aguas dentro de la planta de tratamiento.

Redes

Al interior del Batallón, hay una serie de colectores secundarios, que descargan en el colector principal, el cual representa el punto de ingreso de las aguas residuales a la planta.

Actualmente este no vierte sus aguas hacia el interior de la planta, sino que las distribuye hacia un caño adyacente a ésta, dicho caño tiene como destino final al Arroyo Grande de Corozal, esta situación nos indica que tanto los residuos como las aguas que son producidas al interior del Batallón, actualmente no tienen ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidas a un cuerpo de agua natural, lo cual pone en riesgo no solo el cuerpo de agua superficial, sino también la escorrentía subterránea por las posibles infiltraciones hacia el subsuelo.

Los colectores anteriormente mencionados se localizaron e identificaron tal como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Memoria Descriptiva Registros Colectores de ARD, 07/07/2007.

HORA	COORD.	CAJA N°	DESCRIPCION INFRAESTRUCTURA.	DESCRIPCION ARD.	FOTOS N°
09:45:00 a.m.	N 1.522.464 E 864,529	1	Caja de Recolección: En este registro llegan 4 Vertimientos: AR cocina de infantes, US Comando Brigada (baños), US Comando Batallón # 4, US "Sanidad" (baños).	AR color rojizo con materia orgánica sólida visible (vegetales, grasas, residuos comestibles).	30 - 31
09:58:00 a.m.	N 1.522.452 E 864,421	2	Caja ARD: En este registro llegan 2 vertimientos: Casas de oficiales, Casas de suboficiales (solteros). Diámetro tubo: 6 Pulg. PVC amarillo.	ARD color grisácea, diluida, sin sólidos observables a simple vista.	32
10:10:00 a.m.	N 1.522.310 E 864.437	3	Caja ARD: Manhol 2 Vertimientos ARD: Cámara suboficiales, casas fiscales de los suboficiales Diámetro tubo (1ª afluencia): 10 pulg. En concreto Diámetro tubo (2ª afluencia): 10 pulg. PVC amarillo.	ARD diluida, poca presencia de sólidos orgánicos visibles, presencia de cucarachas.	33
10:20:00 a.m.	N 1.522.478 E 864.584	4	Macromedidor: Macromedidor Sappel de agua potable al pie del transformador de 1-12 KVA, sobre tubería American Pipe con tee de 24" * 24" * 2' hacia casas fiscales.	Red de Agua Potable	34

Tabla 5. (Continuación)

HORA	COORD.	CAJA N°	DESCRIPCION INFRAESTRUCTURA.	DESCRIPCION ARD.	FOTOS N°
10:28:00 a.m.	N 1.522.264 E 864.775	5	Caja unidad: Caja unidad destapada de 5 vertimientos: Barraca BACIM, Barraca Gaula, Barraca Suboficiales, Barraca compañía EXDE, Barraca Batallón # 4. Tubería de efluencia: 6' PVC.	ARD clara, sin sedimentos visibles, apariencia de aeróbica, buen caudal, según información suministrada el caudal es constante ocupando el tirante observado en la entrada al tubo así como en la cañuela de la caja.	35
10:45:00 a.m.	N 1.522.292 E 864.505	6	Manhol: Manhol (adyacente a instalación de poricultura) de 2 vertimientos: procedentes de Caja 1, Caja 2, Manhol 3. El efluente entrega a la caja Registro principal (caja 7) cerca de la PTAR. Diámetro manhol: 0.6 m. Diámetro de las 2 afluencias: 8' y 10'. Diámetro de la efluencia: 10'. Tuberías en concreto.	Se observa que el AR de la porqueriza vierte a arroyuelos menores, no va a la PTAR	36
10:52:00 a.m.	N 1.522.116 E 864.549	7	Colector final: Caja colector final, sección horizontal cuadrada, es el punto de muestreo de las AR de la PTAR. Diámetro Afluencia: 10' concreto con entrega sumergida. Diámetro Efluencia: 10' PVC como bypass al arroyo.	ARD color gris moderado sin sólidos visibles, con tirante o lamina de 5 cm. y ancho de la lamina de 15 cm.	37

**Registro Fotográfico De Las Cajas Colectoras de ARD
Batallón de Infantería de Marina Nº 1 07/07/2007**



Fotografía 30. Registro colector 1.



Fotografía 31. Registro colector 1. Con presencia notable de grasas.



Fotografía 32. Registro colector 2.



Fotografía 33. Registro colector 3 (manhol).



Fotografía 34. Macromedidor de agua potable Sappel.



Fotografía 35. Registro colector 5.



Fotografía 36. Registro colector 6.



Fotografía 37. Colector Final (punto de muestreo).

5.1.3 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Para la caracterización de las aguas residuales domesticas producto de los diversos usos que se dan al agua en la Primera Brigada de Infantería de Marina (BRIM - 1) se siguieron los métodos normales establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico "RAS 2000".

Para determinar el tipo de muestreo realizado se hizo necesario establecer el nivel de complejidad de acuerdo a la población existente. Según información

suministrada (Registros de población interna) por el Sargento Juan Carlos Vergara Flórez, Jefe de Mantenimiento y Transporte, BAFIM 1, al interior de la institución se maneja una población servida de 900 habitantes y una población flotante de 1100 habitantes, por lo que se asume una población máxima de 2000 habitantes a la fecha (Agosto de 2007) la cual ubica al sistema en un nivel de complejidad Bajo (Según tabla A.3.1, Asignación del Nivel de Complejidad, RAS 2000), al considerar el tamaño de la población servida.

Teniendo en cuenta que el punto antes de la entrada de las aguas esta compuesto por varias conexiones y el caudal es variable en el transcurso del día se procede a tomar muestras simples.

Los parámetros a ensayar para un nivel de complejidad Bajo y cuyas muestras son de tipo simple son los siguientes (Titulo A, numeral 11.4.1.2, RAS 2000):

- OD (Oxigeno Disuelto)
- T (Temperatura)
- pH

Para tener un mejor análisis de lo que puede estar sucediendo con las aguas residuales al interior del Batallón, se tomo la decisión de tener en cuenta ciertos parámetros complementarios, los cuales se describen a continuación:

- DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigeno)
- DQO (Demanda Química de Oxigeno)
- GRA (Grasas)
- NKT (Nitrógeno KJELDHAL)

- S_{sed} (Sólidos Sedimentables, SED)
- SST (Sólidos Suspendidos Totales)
- SD (Sólidos Disueltos)
- ST (Sólidos Totales)
- P (Fósforo)
- DET (Detergente)*
- CT (Coliformes Totales)
- (Coliformes Fecales)

* Parámetro tomado en una hora representativa (limpieza de vajilla, baño corporal, lavamanos).

Se realizaron cinco (5) muestreos de los cuales tres (3) fueron en el afluente y los restantes en el Arroyo Grande de Corozal, aguas arriba y aguas abajo de la PTAR; estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de la Empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. (Anexo F) y los resultados se muestran a continuación.

Tabla 6. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos Analizados en el Colector Final.						
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS				
		070801	070802	070803	070804	070805
DBO ₅	mg/L	104	70	76	73	90
DQO	mg/L	218	203	195	247	284
GRA	mg/L	21	1,0	12	3,6	11
NKT	mg/L	4,3	9,3	9,8	20	18
SED	mg/L	0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5
SST	mg/L	63	33	52	37	49
SD	mg/L	423	691	333	643	357
ST	mg/L	508	787	522	793	410
P	mg/L	0,69	<0,1	<0,1	3,1	3,2
OD	mg/L	0,61	<0,1	1,14	<0,1	0,65
DET	mg/L	X	X	2,1	X	X
CT	NMP/100mL	34 x	49 x	24 x	79 x	54 x
		10 ⁵				
CF	NMP/100mL	28 x	49 x	79 x	49 x	54 x
		10 ⁵				

Identificación de las muestras de agua:

- E-070801: Aguas arriba del vertimiento de AR de la PTAR (arroyo Grande de Corozal)
- E-070802: Aguas abajo del vertimiento de AR de la PTAR (arroyo Grande de Corozal)
- E-070803: Afluente a la planta de tratamiento # 5
- E-070804: Afluente a la planta de tratamiento # 2
- E-070805: Afluente a la planta de tratamiento # 1

Las columnas sombreadas muestran los resultados obtenidos de las aguas que ingresan a la planta, paralelo a este muestreo se realizó una caracterización in situ tanto a la entrada de la planta como en los colectores donde se verificaron otra

serie de parámetros que complementan el estudio realizado para poder así compararlos con los obtenidos en el laboratorio. Estos parámetros son:

- OD
- SST
- pH
- Conductividad (C)
- Salinidad (S)



Fotografía 38. Recipientes dispuestos para la Toma de muestras.



Fotografía 39. Preservación de muestras.

Para estos parámetros tomados in situ se utilizó el equipo Multiparametro con pH-metro HANNA HI 8424, Conductímetro WTW, Termómetro ambiental de 100 °C y para el oxígeno se observó las condiciones prácticamente anoxicas en el frasco Winkler con los reactivos álcalis yoduro y sulfato de manganeso como preservativos.

A continuación se resumen en las tablas 7 y 8 los resultados de las pruebas realizadas en campo a los diferentes puntos que hacen parte del sistema de recolección y entrega de aguas residuales.

Tabla 7. Toma de Muestras - Colector final y Arroyo Grande de Corozal, 19/06/2007.					
Muestra N°	Hora	Temp.	Parámetro	Localiz.	Observaciones
N° 1	06:36:00 a.m.	30 °C	Oxígeno Disuelto(in situ y muestra para laboratorio)	Afluente de Aguas residuales de entrada a la planta.	Realizado el procedimiento analítico con el Multiparámetro, se observa en la botella las condiciones típicas de ausencia de oxígeno (anoxicas). El agua cruda residual presenta una coloración gris clara y fluye como corresponde a período de caudal pico.
			30 °C		
		29.5 °C	PH(In situ)		
		29.5 °C	Conductividad(In situ)		
		29.5 °C	Salinidad(In situ)		
N° 2	09:53:00 a.m.	29.2 °C	Oxígeno Disuelto(in situ y muestra para laboratorio)	Agua natural Arroyo Grande 20 m. Aguas abajo del vertimiento de AR del BACAİM	Se colocó la muestra en el cono de imhoff para proceder a determinar los sólidos en ml/L de agua residual dando como resultado un valor de 0,3 ml/L de SST El valor de PH fue de 7,61 El valor de Conductividad fue de 628µs/cm. El valor de Salinidad fue de 0 %.
		29.2 °C	SST(in situ)		
		29.2 °C	PH(In situ)		
		29.2 °C	Conductividad(In situ)		
		29.2 °C	Salinidad(In situ)		
N° 3	11:19:00 a.m.	29.4 °C	Oxígeno Disuelto(in situ y muestra para laboratorio)	Agua natural Arroyo Grande 120 m. Aguas arriba del vertimiento de AR del BACAİM	Realizado el procedimiento analítico, se observa en la botella de winkler condiciones anoxicas. Realizado el procedimiento con el cono de imhoff el resultado fue de 0.1 ml/L El valor de PH fue de 7,65 El valor de conductividad fue de 1397µs/cm El valor de salinidad fue de 0.4 %.
		29.4 °C	SST(in situ)		
		29.4 °C	PH(In situ)		
		29.4 °C	Conductividad(In situ)		
		29.4 °C	Salinidad(In situ)		

Tabla 7. (Continuación)

Muestra N°	Hora	Temp.	Parámetro	Localiz.	Observaciones
N° 4	02:06:00 p.m.	30.3 °C	Oxígeno Disuelto(in situ y muestra para laboratorio)	Afluente de Aguas residuales de entrada a la planta.	Realizado el procedimiento analítico, se observa en la botella de Winkler condiciones anoxicas.
		30.3 °C	SST(in situ)		
		30.3 °C	PH(In situ)		
		30.3 °C	Conductividad(In situ)		
		30.3 °C	Salinidad(In situ)		
		30.3 °C	Salinidad(In situ)		
N° 5	04:15:00 p.m.	30.3 °C	Oxígeno Disuelto(in situ y muestra para laboratorio)	Afluente de Aguas residuales de entrada a la planta.	Realizado el procedimiento analítico, se observa en la botella de Winkler condiciones anoxicas.
		30.3 °C	SST(in situ)		
		30.3 °C	PH(In situ)		
		30.3 °C	Conductividad(In situ)		
		30.3 °C	Salinidad(In situ)		
		30.3 °C	Salinidad(In situ)		

*En esta muestra se tomó además 1 litro de ARD tomado de la descarga al cauce del arroyo receptor (uso del by-pass), recolectado en balde por caída desde el tubo de diámetro 8", dando un resultado de SST: 3.0 ml / l t.

TABLA 8. Memoria Descriptiva - Registros Colectores de ARD, 17/07/2007.								
Lugar	V (L)	t (s)	Q (L/s)	PH	T(°C)	C(µs/cm)	S(ppm)	Descripción.
Cajilla # 1 (Caja de recolección) Hora: 8:20am								
Afluencia 1	1.3	9.63	* 0.13	6.63	31.9	1598	0.5	Cocina de Infantes. Fotos 40 – 41
Afluencia 2	1.2	120.27	* 0.010	7.64	29.8	542	0	Caney de Infantes-Mampostería.
								Casas de Suboficiales. Foto 42
Cajilla # 2 (Caja ARD)	1	7.39	* 0.135	8.96	28.8	837	0.1	Memoria Descriptiva: 1. Aforo Φ6" PVC Amarillo. 2. Sólidos orgánicos típicos. 3. Presencia de olores. 4. Presencia de cucarachas.
Manhol (Caja ARD)								
Afluencia 1	4	290.52	* 0.017	7.66	30.7	955	0.2	Cámara de Suboficiales (baños y cocina) + Baños Jardín Naval + 60 viviendas. Memoria Descriptiva: 1. Aforo Φ10" Concreto

Continuación Tabla 8.

Lugar	V (L)	t (s)	Q (L/s)	PH	T(°C)	C(µs/cm)	S(ppm)	Descripción.
Afluencia 2	2.8	8.15	* 0.344	7.82	29.6	445	0	9 viviendas Suboficiales. Memoria Descriptiva: 1. Aforo Φ 6" PVC Amarillo. 2. Color ARD: Blanco.
Cajilla # 6 (Manhol - Porqueriza)			**	7.52	30.2	568	0	Memoria Descriptiva: 1. Color ARD: Claro. 2. Sin sedimentos visibles.
Cajilla final Hora: 9:11 - 9:18 a.m.	4.8	2.2	* 2.182	7.37	30.2	599	0	Memoria Descriptiva: 1. Φ Afluencia: 10" Concreto (sumergido). 2. Φ Efluencia: 10" PVC. 3. W=0.15m; Y=0.05m. 4. ARD gris con sólidos orgánicos visibles: Suspendidos, disueltos, flotantes.
Cajilla # 5 (Caja unidad - Perrera)	----	----	*** 1.56	7.66	29.7	440	0	Memoria Descriptiva: Foto 43 1. Φ Caja (interno): 1.2m. 2. Φ 6" PVC amarillo. 3. Agua clara. 4. Buen caudal. 5. W= 0.14m; Y=0.07m. 6. m (%) = 0.025 %

* Para determinar los caudales de ARD de los colectores se realizó por medio de aforo volumétrico.

** No se realizó aforo por inaccesibilidad para tomar la muestra de ARD.

*** Se determinó el caudal aplicando la fórmula de Manning, empleada en aforos de tuberías de alcantarillado. El proceso para hallar el caudal se describe a continuación:

$$Q = 1000 \frac{K}{n} d^{8/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q = caudal en L/s.

K = constante de cálculo para la fórmula de Manning valor que se obtiene de la tabla 1 (Anexo B), de acuerdo con el valor de la relación entre la profundidad de flujo y el diámetro D de la tubería.

n = coeficiente de rugosidad de Manning. Los valores típicos se incluyen en la tabla 2 (Ver anexo B).

d = profundidad del flujo, m.

D = diámetro de la alcantarilla, m.

S = pendiente del gradiente hidráulico, m/m.

$$Q = 1000 \left(\frac{1.07}{0.009} \right) (0.07m)^{8/3} (0.00025m/m)^{1/2} = 1.56L/s$$

Registro Fotográfico De Las Cajas Colectoras de ARD, 17/07/2007.



Fotografía 40. Colector cocina de infantes.



Fotografía 41. Colector cocina de infantes.



Fotografía 42. Colector Casas de Suboficiales.



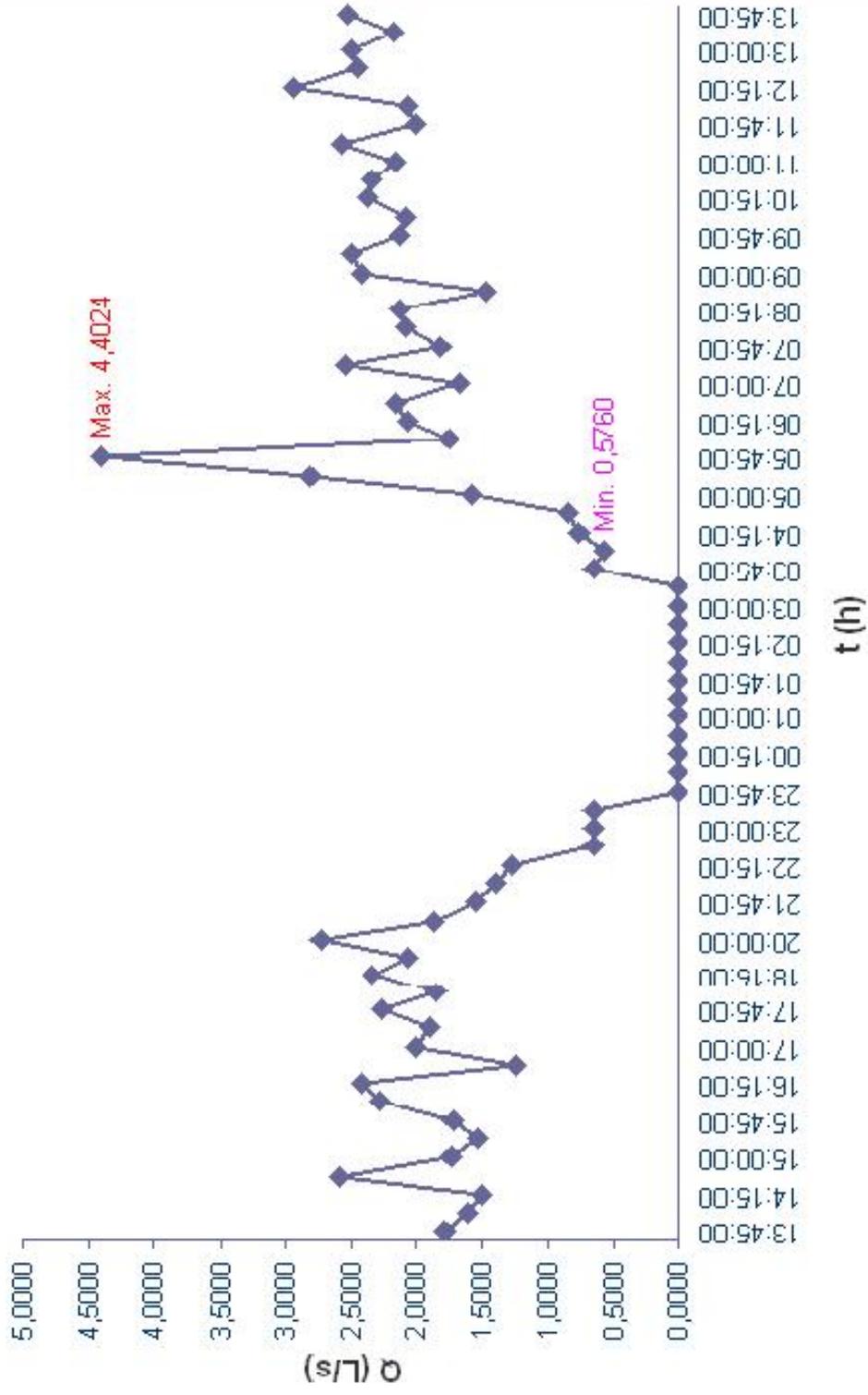
Fotografía 43. Registro 5.

5.1.4 AFORO DE CAUDAL

Para el aforo del caudal se realizaron mediciones periódicas (tres por hora) durante veinticuatro horas (en dos días) empleando el método de aforo volumétrico, este aforo fue realizado en la cámara de igualamiento de caudales esto permitió observar la variación de el caudal a lo largo del día y algunos tiempos en los cuales la planta se mantiene inactiva, estas mediciones se tabularon y se presentan en el siguiente grafico.

N

Figura 6. Caudal(Q) Vs Tiempo(t).



5.1.5 ESTUDIO DE SUELOS

Para llevar a cabo el estudio de suelos se realizó dos apiques o sondeos en puntos estratégicos, los cuales se localizaron uno al interior de la PTAR, y el otro en la parte externa de esta, el equipo que se utilizó para tomar las muestras fue Barreno Toma muestras inalteradas (ver fotografías, Anexo B).



Fotografía 44. Apique N° 1 parte externa de la de la PTAR.



Fotografía 45. Apique N° 2 parte interna PTAR.

Con lo observado en campo, se obtiene la descripción de los perfiles u horizontes, en cada uno de los apiques, los cuales se muestran a continuación:

➤ APIQUE N° 1 (Parte externa de la PTAR).

Estrato 1: grava arcillosa pardo oscura, plástica y medianamente cohesiva. Profundidad: 0 – 25 cm.

Estrato 2: arcilla arenosa, pardo café rojizo, medianamente plástica y medianamente cohesiva. Profundidad: 25 – 50 cm.

Estrato 3: arena arcillosa con presencia de gravilla, ligeramente cohesiva y ligeramente plástica. Profundidad: 50 -70 cm.

Estrato 4: arena gravilosa, presencia de gravas y canto rodado, medianamente consolidada y amarillenta. Profundidad: 70 – 120 cm.

Después de esta última capa el material encontrado, el grado de consolidación de la masa de suelo, era mucho mayor, no se encontró nivel freático.

A continuación describimos gráficamente el perfil estratigráfico de los materiales encontrados visualmente para este sondeo.

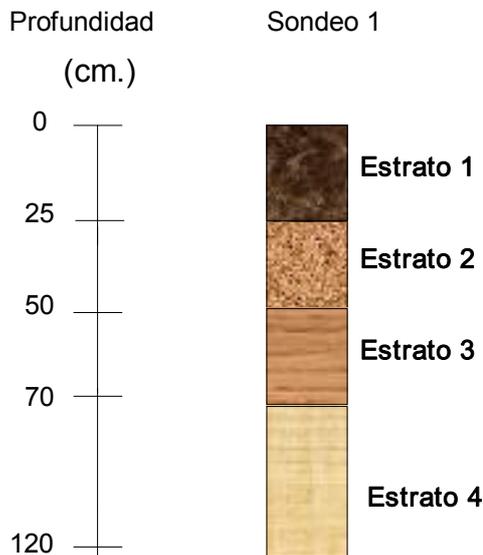


Figura 7. Perfil Estratigráfico por Observación Directa, Sondeo 1.

➤ **APIQUE N° 2 (Parte interna de la PTAR).**

Estrato 1: arcilla arenosa parda oscura, muy plástica y muy cohesiva. Profundidad: 0 – 30 cm.

Estrato 2: arcilla parda café muy plástica, muy cohesiva. Profundidad: 30 – 150 cm.

Estrato 3: arcilla arenosa grisácea muy plástica, muy cohesiva, con superficies de presión. Profundidad: 150 – 240.

El suelo presente en este apique, presenta contenidos de materia orgánica, que se incrementan a medida que se profundiza en el subsuelo, no se encontró nivel freático.

A continuación describimos gráficamente el perfil estratigráfico de los materiales encontrados visualmente para este sondeo.

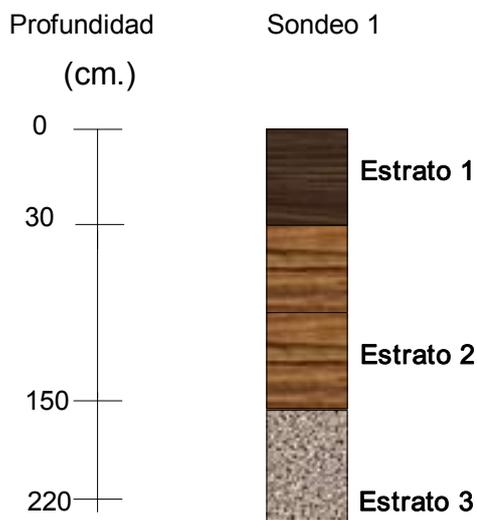


Figura 8. Perfil Estratigráfico por Observación Directa, Sondeo 2.

Las muestras tomadas en los apiques, fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos Y Aguas de la Universidad de Sucre, y fueron sometidas a diversos ensayos con el fin de obtener los siguientes parámetros:

- Peso unitario
- Granulometría
- Limite liquido, Limite plástico e Índice de plasticidad (Límites de Atterberg)
- Permeabilidad
- Relación de Vacíos
- Capacidad Portante
- Gravedad Específica
- Contenido de Humedad

A continuación se muestran los resultados de laboratorio para cada ensayo, (Ver Anexo G).

PESO UNITARIO

- Apique N° 1 (Muestra N° 1, Estrato 4):
Promedio, $\Gamma_{\text{seco}} = 19.45 \text{ kN/m}^3$ (1.98 gr/cm³)

- Apique N° 2 (Muestra N° 2, Estrato 3):
Promedio, $\Gamma_{\text{seco}} = 16.18 \text{ kN/m}^3$ (1.65 gr. /cm³)

GRANULOMETRIA

La clasificación del tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (U.S.C) de los resultados obtenidos en laboratorio, se resume en las tablas 10, 12 y 13.

Tabla 9. Granulometría (Apique N° 1 - Muestra N° 1, Estrato 4)				
Análisis por tamizado y forma de granos				
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% que pasa
4	4,75	32	6,4	93,6
10	2	75	15	78,6
20	0,84	52	10,4	68,2
40	0,425	97,5	19,5	48,7
60	0,25	108	21,6	27,1
100	0,15	53	10,6	16,5
200	0,075	24	4,8	11,7
Fondo		58,5		
	Σ	500		

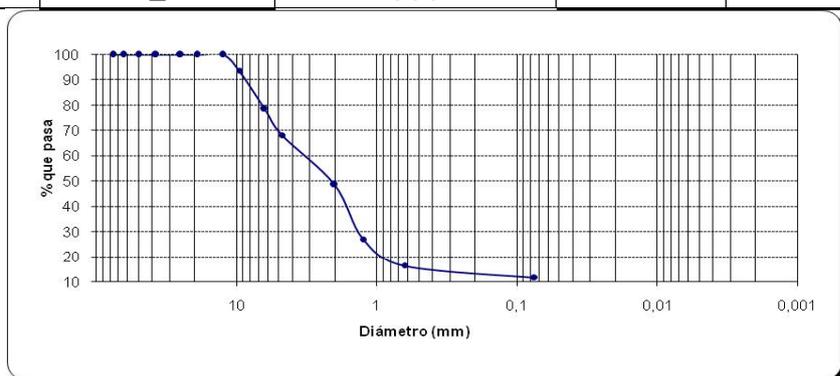


Figura 9. Curva Granulométrica, Apique N° 1 - Muestra N° 1, Estrato 4

Tabla 10. Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C

Parámetros de Gradación	Valor	Clasificación
D10	0,068	U.S.C
D30	0,174	U.S.C
D60	0,757	U.S.C
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	11,093	U.S.C
Coefficiente de Curvatura (Cc)	0,589	U.S.C
Grupo:	Suelo de Partículas Gruesas	U.S.C
Subgrupo:	Arenas	U.S.C
	Caso límite que requiere símbolo doble: Arena mal gradada ligeramente limosa (SP - SM).	U.S.C

Tabla 11. Granulometría (Apique N° 2 - Muestra N° 1, Estrato 2)				
Análisis por tamizado y forma de granos				
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% que pasa
4	4,75	2.8	1.4	98.6
10	2	3.2	1.6	97.0
20	0,84	6.0	3.0	94.0
40	0,425	9.2	4.6	89.4
60	0,25	21.0	10.5	78.9
100	0,15	19.6	9.8	69.1
200	0,075	15.0	7.5	61.6
Fondo		123.2		
	Σ	200		

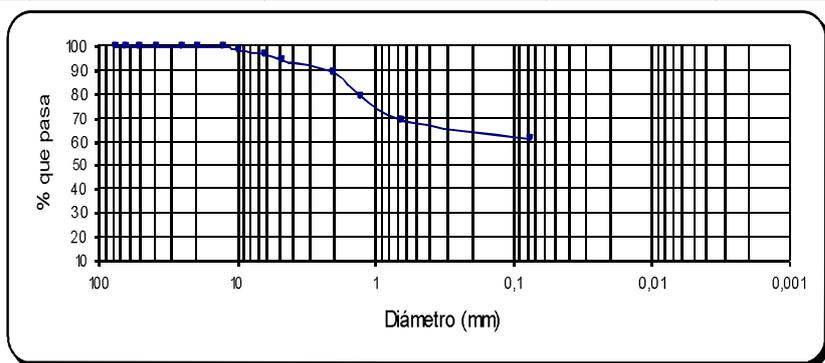


Figura 10. Curva Granulométrica, Apique N° 2 - Muestra N° 1, Estrato 2

Tabla 12. Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C

		Clasificación
Grupo:	Suelo de Partículas Finas	U.S.C
Subgrupo:	Limos y Arcillas con Limite Liquido 3/4 50%	U.S.C
	Arcilla Inorgánica de Baja a Media Plasticidad (CL)	U.S.C

Tabla 13. Granulometría (Apique N° 2 - Muestra N° 2, Estrato 3)				
Análisis por tamizado y forma de granos				
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% que pasa
4	4,75	3	1,5	98,5
10	2	4	2	96,5
20	0,84	5	2,5	94
40	0,425	8	4	90
60	0,25	28	14	76
100	0,15	23,5	11,75	64,25
200	0,075	17	8,5	55,75
	Σ	200		

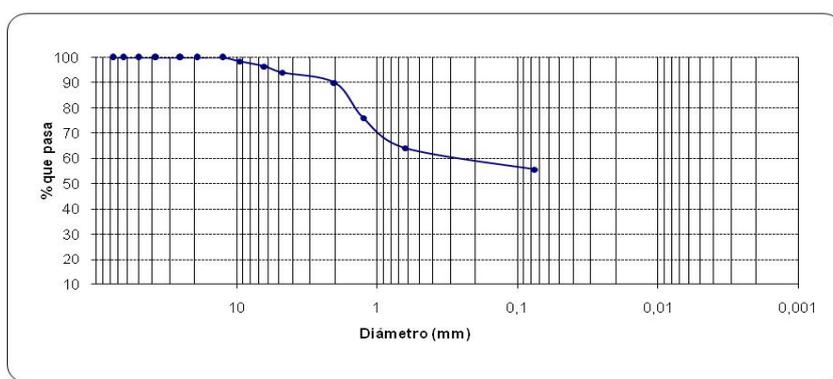


Figura 11. Curva Granulométrica, Apique N° 2 - Muestra N° 2, Estrato 3

Tabla 14. Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos U.S.C

		Clasificación
Grupo:	Suelo de Partículas Finas	U.S.C
Subgrupo:	Limos y Arcillas con Limite Líquido 3/4 50%	U.S.C
	Arcilla Inorgánica de Baja a Media Plasticidad (CL)	U.S.C

LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (LIMITES DE ATTERBERG)

Al realizar los apiques, pudo determinarse que el suelo presente en la excavación N° 1, presenta propiedades no cohesivas (Arena media con presencia de gravas amarillenta fuerte, medianamente consolidada), por esta razón a este no se le realizo el ensayo de Limites de Atterberg, (Anexo G). A continuación los resultados para Apique N° 2 (Muestra N° 1- Muestra N° 2):

➤ Muestra N° 1, Estrato 2

Límite Líquido (LL): 35.23 %

Límite Plástico (LP): 23.74 %

Índice de Plasticidad (IP)

$IP = LL - LP = 11.49 \%$

➤ Muestra N° 2, Estrato 3

Límite Líquido (LL): 41.50%

Límite Plástico (LP): 24.48%

Índice de Plasticidad (IP)

$IP = LL - LP = 17.02\%$

PERMEABILIDAD

➤ Apique N° 1, Muestra N° 1, Estrato 3

El ensayo se realizó por el método de Cabeza Constante (Anexo G), clasificando la muestra para este estrato como: Elevada, muy permeable

➤ Apique N° 2, Muestra N° 1, Estrato 2

El ensayo se realizó por el método de Cabeza Variable (Anexo G), clasificando la muestra para este estrato como: Baja o poco permeable.

➤ Apique N° 2, Muestra N° 2, Estrato 3

El ensayo se realizó por el método de Cabeza Variable (Anexo G), clasificando la muestra para este estrato como: Baja o poco permeable.

RELACION DE VACIOS

Este ensayo sólo se realiza a materiales de tipo granular o de grano grueso, por la facilidad de aplicar las relaciones gravimétricas-volumétricas, debido a que el suelo encontrado presentó una alta cohesividad no se realizó este parámetro.

CAPACIDAD PORTANTE

➤ Apique N° 1, Muestra N° 1, Estrato 3

Este ensayo se realizó por el método de Corte Directo, se hicieron 3 pruebas en el cual se ensayó con una carga diferente cada una de estas, a continuación se muestra los esfuerzos cortantes (t) para cada prueba con su correspondiente carga normal (N) y esfuerzo normal (σ):

N (Kg)	σ (Kg / cm ²)	t (Kg / cm ²)
5	0,144	1,49
10	0,29	1,8
20	0,57	2,09

➤ Apique N° 2, Muestra N° 1, Estrato 2

Este ensayo se realizó por el método de compresión inconfiada los datos obtenidos se muestran a continuación, (Ver Tabla 15, Figura 12)

El ensayo da como resultado una Resistencia a Compresión Inconfiada (q_u): 12487.63 Kg / m², (Ver anexo G).

➤ Apique N° 2, Muestra N° 2, Estrato 3

Este ensayo se realizó por el método de compresión inconfiada los datos obtenidos se muestran a continuación, (Ver Tabla 16, Figura 13)

El ensayo da como resultado una Resistencia a Compresión Inconfiada (q_u): 12856.76 Kg / m², (Ver anexo G).

Tabla 15. Valores Ensayo Capacidad Portante (Compresión Inconfinada)

Deformación Unitaria	Esfuerzo Unitario (Kg/m ²)
0,000000	0,00
0,000876	795,16
0,001752	1390,32
0,003503	1784,41
0,005255	3364,64
0,007007	4149,00
0,008759	4733,35
0,010510	5118,73
0,013138	6086,89
0,017517	6841,80
0,021021	7596,54
0,024524	8345,69
0,028028	8895,89
0,031531	9827,28
0,035034	10751,70
0,038538	11477,86
0,043793	11985,88
0,049048	12487,63
0,054303	11477,81
0,057807	10872,90
0,061310	9898,64

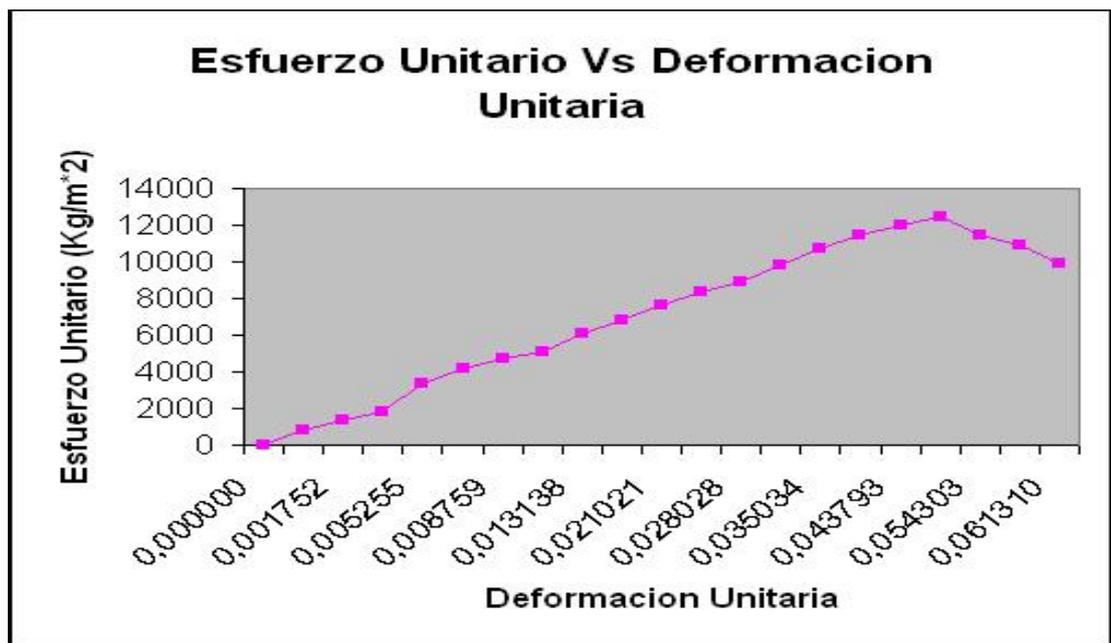


Figura 12.

Tabla 16. Valores Ensayo Capacidad Portante (Compresión Inconfinada)

Deformación Unitaria	Esfuerzo Unitario (Kg/m ²)
0,000000	0,000
0,000888	1192,732
0,001776	1787,507
0,003552	2577,361
0,005328	3760,198
0,007104	4543,690
0,008881	5127,157
0,010657	5708,503
0,013321	6282,074
0,017762	7230,958
0,021314	7788,979
0,024867	8536,778
0,028410	9472,232
0,031970	10400,610
0,035524	10938,140
0,039076	11662,610
0,044405	12358,460
0,049734	12856,750
0,055062	12220,630
0,058615	11425,480
0,062167	10635,98

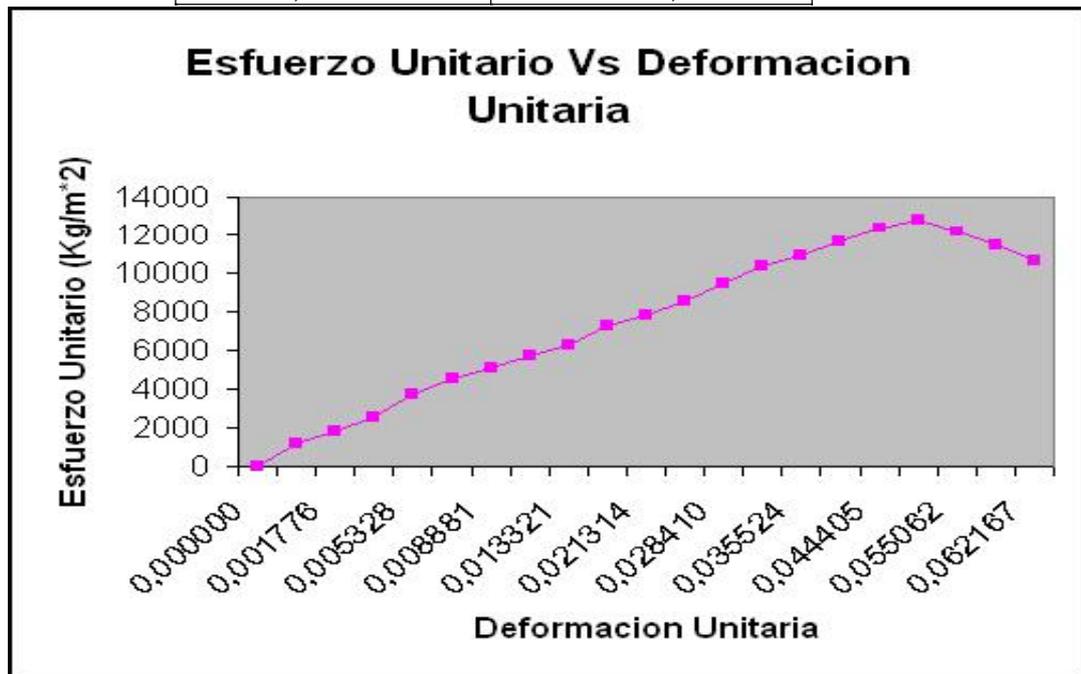


Figura 13.

GRAVEDAD ESPECÍFICA (G_s)

- Apique N° 1, Muestra N° 1, Estrato 3

$G_s = 2.579$

- Apique N° 2, Muestra N° 1, Estrato 2

$G_s = 2.787$

- Apique N° 2, Muestra N° 2, Estrato 3

$G_s = 2.579$

CONTENIDO DE HUMEDAD

ESTRATO N°	APIQUE N° 1		
	1	2	3
HUMEDAD PROMEDIO (%)	11,11	20,92	7,72

ESTRATO N°	APIQUE N° 2		
	1	2	3
HUMEDAD PROMEDIO (%)	5,35	19,05	22,04

5.1.6 ESTUDIO DEL LECHO DE LOS FILTROS PERCOLADORES

Para analizar las características físicas y geométricas del medio filtrante o medio de soporte de los filtros percoladores con el fin de compararlas con las especificaciones establecidas en el literal E.4.6.3.3.1 RAS-2000, se tomó una muestra representativa al azar de 100 piedras que conforman el lecho filtrante como se muestra en la fotografía, asegurándonos de tomar una muestra con un peso que cumpliera con las especificaciones técnicas (mayor de 15 kg), se realizó la granulometría de las piedras con los equipos: Juego de Tamices Estándar A.S.T.M E – 11 desde 3 pulgada a $\frac{3}{8}$ de pulgada, Balanza analítica con bascula sensibilidad de 1 g. (Anexo A).

Para determinar lo estipulado en E.4.6.3.3.1 RAS 2000: “La escoria de roca o cualquier medio filtrante no debe contener más de un 5% por peso de materia cuya dimensión mayor sea tres veces su dimensión menor”, se realizó un cuarteo de la muestra y se midió las dimensiones de las piedras con un Nonio o Pie de Rey (Anexo A), dando como resultado un 1 % en peso de la muestra

Se determinó la densidad de las piedras dando un valor de 1564.201 Kg / m³.

La granulometría obtenida y su correspondiente curva granulométrica se presentan en el (Anexo D)

5.2 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM-1 no se encuentra en funcionamiento por diversas causas que a continuación describiremos:

Tres meses después de iniciada la puesta en marcha de la PTAR, debido a lluvias de gran intensidad el cuerpo receptor de AR (Arroyo Grande de Corozal) ubicado a 300 m aproximadamente de la PTAR, aumentó su nivel considerablemente inundando toda la planta y la zona circundante a esta, lo que provocó fallas en la operación debido a que se averiaron algunos equipos eléctricos. Para solucionar este problema se construyó un dique en tierra perimetral a la planta, como obstáculo artificial para impedir el ingreso de las aguas producto del desbordamiento del arroyo. Para evitar el estancamiento de las aguas lluvias que caían directamente al interior de la planta se construyó un registro de drenaje para evacuar las aguas en un tiempo relativamente corto. Complementario a esto se tuvo que incrementar la altura de las casetas de bombeo, ya que estaban a nivel de terreno.

Por otra parte, debido a que la planta no cuenta con un pretratamiento relevante tal como rejillas, desarenador, trampas de grasas etc. Muchos materiales extraños que al no retenerse y/o removerse interfirieron en los procesos operativos de los equipos de bombeo y recirculación de aguas residuales (Hidroneumático cargado de tipo vertical); además estos equipos no tenían la capacidad suficiente para evacuar el AR con suficiente efectividad debido a que los ciclos de carga y descarga se daban en un tiempo muy corto debido al poco volumen de almacenamiento de agua, esto originó que el interruptor eléctrico encargado de emitir la señal respectiva de llenado del

equipo al dispositivo de control de aire (Celenoide), se dañara frecuentemente por lo que se recurría constantemente a su reemplazo, ocasionando costos adicionales considerables y provocando el colapso total de los Hidroneumáticos y por ende se paralizó por un tiempo prudente la operación de la PTAR.

Después de presentase estos problemas con los equipos hidroneumáticos la planta comenzó a funcionar en el año 2002 con una bomba sumergible (marca Tsurumi) de 16 lt/s, (Ver fotografía), esta se instaló en una sección del sedimentador primario para bombear el agua residual a los filtros percoladores.

Otro cambio que sufrió la PTAR fue en el sedimentador secundario ya que el agua sedimentada no pasaba al proceso de desinfección por causa del colapso de los equipos Hidroneumáticos, por lo que se instaló 2 tubos en PVC de 4" trabajando por gravedad, (ver fotografía).



Fotografía 46. Bomba Sumergible Marca Tsurumi.



Fotografía 47. Tubo de 4'' Sedimentador-desinfección.

Por otra parte en los filtros percoladores, uno de los brazos distribuidores se encuentra en mal estado en consecuencia de los problemas presentados en la estructura interna, específicamente por el reemplazo constante del sello hidráulico (Onry). El lecho de secado de lodos presenta deterioros en algunas partes de su estructura como: El manto de arena que conforma el lecho de

secado, debido al arrastre del material y en especial la cubierta que se encuentra en muy mal estado (fotografía14),



Fotografía 48. Brazo distribuidor en mal Estado.

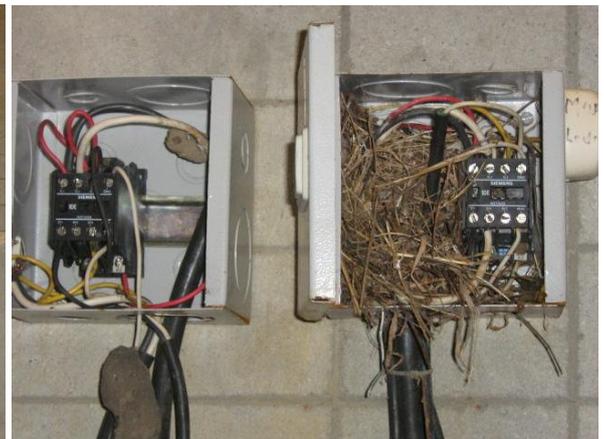


Fotografía 49. Estructura del lecho en Deterioro.

Finalmente un aspecto que agudizó aun más los procesos operativos de los equipos hidráulicos, es el mal estado en que se encuentra el sistema eléctrico (Tableros, cableados, circuitos), (ver fotografías) y actualmente carece del transformador de energía para abastecer a la planta.



Fotografía 50. Tableros y circuitos eléctricos.



Fotografía 51. Tableros en mal estado.

5.2.1 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EXISTENTE FRENTE A ESPECIFICACIONES TECNICAS DE NORMATIVIDAD VIGENTE (RAS 2000)

El sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas que actualmente existe en la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM-1, como se describió anteriormente, posee una serie de procesos de tratamiento que se complementan entre si y por el cual es necesario verificar sus características, con las especificaciones establecidas técnicamente en la normatividad y documentación pertinente.

Uno de los aspectos mas importantes que se debe tener en cuenta para la construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales es la Ubicación, la PTAR en estudio cumple satisfactoriamente lo establecido en E.4.3.3 RAS 2000 que estipula una distancia mínima de 75 m para zonas residenciales.

Para el conocimiento detallado de los componentes físicos de la planta de tratamiento de ARD del Batallón, sus condiciones operativas y las labores de mantenimiento con el propósito de evaluar los diferentes componentes de dicho sistema, no se encontró planos de obra construida, ni memorias de cálculo como se estipula en el literal A.6 RAS 2000.

Debido a que la planta no cuenta con un pretratamiento como tal no podemos comparar nada al respecto y por lo tanto empezaremos con el tratamiento de los sedimentadores (**sedimentadores primarios y secundarios**) el diseño de estos, cumplen con algunas especificaciones del RAS 2000 literal E.4.5.1 para tanques rectangulares que a continuación citamos:

➤ Geometría (E.4.5.1.1)

Relación longitud: ancho debe estar entre 1.5:1 y 15:1, en este caso la relación es 5.26: 2.5m para los sedimentadores primarios y para los secundarios de 6.42: 2.94m.

➤ Profundidad (E.4.5.1.3)

Debe estar entre 2 y 5 m en este caso son de 4.6m

➤ Colocación de pantallas (E.4.5.1.8)

Se recomienda la colocación de pantallas con una extensión entre 150 y 300 mm por debajo de los puntos de entrada que se hallan debajo de la superficie del agua, el diseño inicial contaba con pantallas en madera que cumplían con lo estipulado, actualmente no existen ningún tipo de pantallas por el deterioro de estas.

➤ Control de olores (E.4.5.1.9)

Debe mantenerse una distancia mínima de amortiguamiento de 120 m. La PTAR como se mencionó anteriormente; en este aspecto no tiene ningún problema de olores a la comunidad existente en el Batallón puesto que la gran mayoría de esta se encuentra bastante alejada de la planta.

Para el tratamiento secundario **los filtros percoladores** cumplen con las siguientes especificaciones establecidas en el literal E.4.6.3 RAS 2000 detalladas a continuación:

➤ Generalidades (E.4.6.3.1)

Según RAS 2000 los filtros percoladores pueden ser utilizados en casos donde no se necesite una eficiencia muy alta en la remoción de DBO, para este caso el afluente que llega a la planta según resultados de los análisis de laboratorio obtenidos tiene una DBO entre 73 y 90 mg / L lo cual según Romero J, Tabla1, un agua residual domestica típica tiene una DBO de 200 mg / L lo que quiere

decir que la carga de DBO es baja por lo cual se optó por el sistema de filtros percoladores.

➤ Geometría (E.4.6.3.2)

El reactor o filtro consta de un recipiente cilíndrico o rectangular con diámetros variables, hasta de 60 m y con profundidades entre 1.50 y 12 m. En este caso los filtros percoladores son cilíndricos, tienen un diámetro máximo de 6.53 m y una profundidad de 2.45 m.

➤ Medios de soporte (E.4.6.3.3)

El medio filtrante puede ser piedra triturada o un medio plástico manufacturado especialmente para tal fin. Los filtros de la PTAR cuentan con un medio filtrante en piedra cuyas características se estudiarán con más detalle en los análisis de resultados.

➤ Profundidad del filtro (E.4.6.3.4)

El medio filtrante, en el caso de la piedra debe tener una profundidad mínima de 90 cm y máxima de 180 cm sobre los desagües, para este caso la profundidad del medio filtrante es de 155 cm.

Ventilación (E.4.6.3.9)

Es de gran importancia, para mantener el filtro en condiciones aerobias. El sistema de desagüe, canal efluente y tubería de efluentes deben ser diseñados para permitir el libre paso del aire. Los filtros en estudio poseen 4 cámaras de ventilación permitiendo que se cumplan las especificaciones descritas anteriormente.

Para el proceso de **desinfección** se cumplen con las siguientes especificaciones establecidas en el literal E.4.6.3 RAS 2000 detalladas a continuación:

➤ Generalidades (E.4.9.1)

El proceso de desinfección debe realizarse en el efluente de plantas de tratamiento cuando éste último pueda crear peligros de salud en las comunidades aguas abajo de la descarga. Es importante que la PTAR cumpla con este proceso ya que como se describe en el literal, se diseñó para garantizar la calidad en la entrega al cuerpo receptor y la comunidad aledaña.

➤ Cloración (E.4.9.2.1)

· Tuberías para baja presión hechas de caucho endurecido, forradas de cauchos, de polietileno, cloruro de polivinilo (PVC) son apropiadas para cloro mojado. En este caso las tuberías son de PVC ya que el desinfectante es cloro líquido.

Tanque de contacto

El tanque de contacto de cloro debe ser construido de manera que reduzca al mínimo los cortocircuitos. Deben proveerse tabiques de direccionamiento de flujo con este fin. Deben proveerse unidades duales para el contacto de cloro. La cámara de contacto se divide en dos secciones con el propósito de no suspender la operación mientras se limpie una de ellas.

Especificaciones **Eras de Secado de Lodos** que se cumplen según el RAS:

➤ Geometría (E.4.10.7.2)

Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo removido del digestor. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros. Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores. Los lechos de secado de la PTAR tiene dos secciones de tratamiento en paralelo, los muros laterales tienen bordes libres de 0.6 m a 1 m.

➤ Drenajes (E.4.10.7.3)

1. Medios. Se recomienda utilizar como medios de drenaje capas de grava y de arena.

2. Espesores. Se recomienda que la capa de grava tenga un espesor entre 200 y 460 mm. Y la capa de arena un espesor entre 300 y 460 mm.

3. Recolección de percolados. La recolección de percolados se efectuará a través de tuberías de drenaje de plástico o de teja de arcilla vitrificada con junta abierta. Las tuberías de drenaje principal deben tener no menos de 100 milímetros de diámetro y una pendiente no menor a 1%. La pendiente de la tubería de drenaje del lecho en estudio es bastante considerable.

4. Necesidad de Cobertura. La cubierta proporciona un techo al lecho de arena. La necesidad de utilizarla depende de las condiciones ambientales de la zona. Su uso se recomienda en zonas de alta precipitación. Sin embargo, el diseñador estará en libertad para decidir si se coloca o no cobertura al lecho. En condiciones climatológicas favorables, la evaporación es más rápida en los lechos descubiertos que en los cubiertos. El lecho de secado de la planta se diseñó con cubierta, se presume para protegerlo de las aguas lluvias intensas a pesar que la zona no es de altas precipitaciones, pero el diseñador soluciona el aspecto de la evaporación dejando al descubierto la estructura y colocando una cubierta de tejas translucidas.

En general la PTAR cumple favorablemente según lo estipulado en E.4.3.3 RAS 2000 porque cuenta con suficiente área para instalaciones secundarias y de soporte que se prevean para un futuro, además cuenta con espacios para acceso, circulación y mantenimiento.

5.3 ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación analizaremos los diferentes resultados obtenidos en la fase de campo y laboratorio.

- ◆ Los resultados de los parámetros analizados en laboratorio de las aguas residuales afluentes tales como: sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SED), DBO₅ , DQO, nitrógeno Kjeldahl (NKT), fósforo (P), grasas (Gra) se encuentran dentro del rango normal de concentraciones de los valores fijados para la composición típica de las ARD (Anexo C, "Composición Típica de las ARD, Romero J, 1999) a excepción de los parámetros: Sólidos totales (ST) y sólidos disueltos (SD) los cuales presentaron en uno de los valores un incremento debido al tiempo en que fue tomada la muestra, la cual corresponde a una hora de gran actividad (lavandería, lavado de vajillas, baño corporal etc.). Comparamos los valores de los coliformes totales (CT) con la carga promedio de las aguas residuales domesticas en área rural (Anexo C), "Cargas promedios de las ARD en el área rural", Romero J, 1999) y se encontraban dentro de los rangos normales.
- ◆ En complemento de lo descrito anteriormente en el muestreo realizado se observó que el color de las aguas residuales que llegan a la planta presentan una coloración gris clara lo que demuestra que las cargas de las ARD no son elevadas; esto producto de la gran dilución que hay, por la gran cantidad de aguas grises que se producen en el interior del Batallón. Esto se comprobó aun más a través de la inspección y muestreo en todos los colectores secundarios analizándose algunos

parámetros cuyos valores eran similares a los obtenidos en el colector final, verificándose también la inexistencia de conexiones erradas.

- ◆ En el aforo del caudal se observó que el caudal no era constante a lo largo del tiempo y que el máximo caudal se registra en las horas de la mañana, además se comprobó que la PTAR si se rehabilita, en su operación no tendrá inconvenientes con este caudal ya que es bajo y esta fue diseñada para un caudal mucho mas grande ($Q_d = 9 \text{ L / s}$).
- ◆ Del estudio de suelo realizado se puede ver que en el **apique 1** debido a las características del suelo (arenas de partículas gruesas, arena mal gradada ligeramente limosa SP- SM) este puede ser apto como material de diques o terraplenes en caso de una posible ampliación de la PTAR, o como base para vías de acceso a esta. En el **apique 2**, según los resultados de las características del suelo (suelo de partículas finas, arcilla Inorgánica de baja a media plasticidad CL). Estas características permiten usar este suelo como material de cimentación así como también para el almacenamiento de agua. Los ensayos de capacidad portante indican que los suelos encontrados en los sondeos poseen una buena capacidad de carga, por lo tanto son recomendables para futuras construcciones.
- ◆ La granulometría que se obtuvo de la muestra tomada del medio filtrante en los biofiltros, se clasificó visualmente por profesionales en el tema (Laboratorio de Suelos. Universidad de Sucre) como areniscas consolidadas, pórfidos graníticos, gneis entre otras, esta presentó una curva levemente vertical lo que indica que el tamaño es uniforme en un rango de 2 a 3 pulgadas lo que quiere decir que no cumple satisfactoriamente con las especificaciones técnicas establecidas en E.4.6.3.3.1 RAS 2000. El tamaño de las piedras que conforman el medio filtrante debe estar comprendido entre tres (3) a cinco (5) pulgadas. Respecto a lo requerido en E.4.6.3.3.1 RAS 2000 descrito en

la fase de resultados, la muestra si cumple ya que dio un valor por debajo del 5 % en peso.

- La densidad obtenida de las piedras de la muestra tomada del lecho filtrante se encuentra dentro de los rangos permisibles para piedras de un tamaño entre 1 y 3 pulgadas establecidos en E.4.6.3.3.1 RAS 2000.

6.0 CONCLUSIONES

- A partir del diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales existente en la Primera Brigada de Infantería de Marina, se puede decir que uno de los factores predominantes causantes de la inoperabilidad de la PTAR es no contar con la adecuada operación y mantenimiento de sus componentes, a pesar de tener una capacidad suficiente para el caudal de ARD que se generan en el batallón.
- Es necesario tener en cuenta que antes de ampliar o construir estructuras que complementen y / o optimicen el sistema de tratamiento en estudio, primero se rehabilite completamente la capacidad inicial de los componentes de la PTAR, apreciando la vida útil de estos.
- En las obras estructurales de la PTAR que en su mayoría son de concreto reforzado, se apreció visualmente su buen estado estructural, ya que no se observó ningún tipo de grietas, fisuras o asentamientos que comprometan la estabilidad del sistema.
- La zona del proyecto cuenta con una amplia extensión y topografía variada que permite ubicar diversas obras complementarias que ayuden a mejorar la eficiencia en el tratamiento y eviten dificultades de operación y mantenimiento como las que se recomendaran posteriormente.
- A pesar de los resultados obtenidos en el muestreo del afluente y el cuerpo receptor de las ARD (Arroyo Grande de Corozal) no se pudo estimar el grado de eficiencia de la PTAR ya que está fuera de

operación; solo se pudo estimar a través del caudal aforado que se genera en el Batallón y las características físico – químicas y microbiológicas de las aguas residuales; si la PTAR se rehabilita, puede operar por el resto de su vida útil sin ningún inconveniente en su capacidad de tratamiento, teniendo también en cuenta que el crecimiento de la población en un Batallón no es abrupto si no tendiente a ser constante en su dinámica por periodos en cada año.

7.0 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la problemática que actualmente presenta la PTAR debido a diversas causas que originaron su colapso y que se describieron anteriormente, a continuación presentamos una serie de recomendaciones que contribuyan a restituir la capacidad inicial de diseño:

- ☺ Mejorar y ampliar el proceso de pretratamiento existente (cámara de igualamiento de caudales) construyendo en primera instancia un cribado de rejillas gruesa, en este caso preferiblemente de limpieza manual teniendo en cuenta que la planta es pequeña y el nivel de complejidad del sistema es bajo; este con el objetivo de retener material grueso y abrasivo que trae el AR, pues se observó en la fase de campo presencia de muchos materiales de gran tamaño (Anexo A) en especial grandes cantidades de plásticos y algunos prendas militares que pueden ocasionar daños en la operación de: bombas, válvulas, tuberías y demás equipos.
- ☺ Conjuntamente al diseño del cribado se recomienda canaleta Parshall para el aforo del caudal que entra a la PTAR; es la estructura que más se amolda ya que no permite acumulación de material sedimentable como suele ocurrir con los vertederos; la planta no cuenta con ningún tipo de sistema de aforo de caudal.
- ☺ Se recomienda la construcción de una trampa de grasas debido al carácter especial que enmarca el establecimiento en estudio (Batallón Militar), en el cual se producen apreciables cantidades de grasa de

origen vegetal, animal, y derivados del petróleo, que se generan en la preparación y consumo de alimentos, reparación y lavado automotriz respectivamente. La trampa de grasa cumplirá un objetivo esencial ya que evitará la acumulación de grasas en los registros, algunos de los cuales actualmente están colmatados (Anexo A) y sobre todo, esta evitara los problemas de flujo en los sedimentadores existentes en la PTAR.

- ☺ Finalmente en pro de optimizar el pretratamiento se recomienda la construcción de un desarenador para remover partículas u otro material sólido como por ejemplo las arenas y gravas. Esto con el fin de reducir la periodicidad en la limpieza de los sedimentadores.
- ☺ Se recomienda un reemplazo de los actuales equipos de bombeo de AR, lodos y recirculación por otros equipos Hidroneumáticos de mayor volumen, o bombas sumergibles para aguas negras in atascables con presión constante o colocando válvulas de control antes y después de las bombas.
- ☺ En los filtros percoladores se recomienda para los brazos distribuidores reemplazar el sello, que garantiza que no halla filtraciones de agua residual (Onry), por otro sello hidráulico como es el caso de un retenedor que se adapta más a los movimientos de rotación que el anterior. Otra alternativa es optar por un sistema de brazos fijos los suficientes para abarcar toda el área de los filtros evitando zonas muertas. Es necesario realizar una limpieza o lavado del lecho filtrante y procurar adicionar material de mayor tamaño para que cumpla eficientemente su función.
- ☺ En el sistema eléctrico se sugiere un mantenimiento y limpieza en general del cableado y circuitos, remplazar los tableros metálicos por plásticos, y en general hacer los planos de las redes eléctricas y circuitos.

- ☺ Realizar mantenimiento a los equipos como son motores y compresores en especial a la planta eléctrica que se encuentra en la caseta de bombeo 2 de los sedimentadores secundarios pues juega un papel importante como plan de contingencia en momentos de interrupciones del fluido eléctrico.

- ☺ Como el proceso de desinfección es vital para obtener unas buenas características de efluente, es necesario hacer un mantenimiento de los inyectores medidores de cloro el cual es buen sistema para este tipo de plantas pequeñas. Recomendamos en la cámara de desinfección reemplazar el actual sistema de salida de desinfectante en este caso cloro líquido que se hacía por goteo puntual por un sistema de flauta a lo largo del vertedero para una distribución uniforme del cloro, evitando zonas muertas o corto circuitos.

- ☺ En los sedimentadores se recomienda colocar pantallas en otro material (concreto o acero galvanizado) diferente a la madera las cuales eran las que anteriormente estaban y se deterioraron rápidamente.

- ☺ Se recomienda construir un canal en concreto para evacuar la aguas lluvias provenientes de la parte alta del área de la PTAR. Este canal debe construirse preferiblemente con una sección trapezoidal, por ser la sección de mayor eficiencia.

- ☺ Para mitigar los malos olores que se presentan actualmente en el caño interno adyacente a la Planta (by-pass de la PTAR), producto de la libre descarga de ARD, generadas al interior del Batallón y que pueden causar molestias en las actividades militares que se desarrollan en el área de polígono, se recomienda dirigir las ARD por medio de tuberías hasta el cuerpo receptor o empalmado al canal descrito anteriormente.

- ☺ Con el objeto de que la PTAR trate todas las AR que se producen en el Batallón se sugiere ampliar la cobertura de las redes internas de alcantarillado de tal manera que las aguas provenientes de las actividades de lavado de automotores, cocina y en especial la porqueriza cercana a la planta (Anexo A), que actualmente no tienen ningún plan de manejo de las aguas residuales; lleguen a la PTAR para su posterior tratamiento, ya que actualmente no se encuentra dentro de la cobertura de la planta.

- ☺ Para un mejor manejo y aprovechamiento de los lodos producidos en la planta se aconseja mezclar el lodo seco removido del lecho de secado con aserrín y residuos orgánicos producto de la cocina como cáscaras de huevo, restos de hortalizas, frutas etc., con el fin de hacer compost, entre otros, y utilizarlo como fertilizante natural para plantas ornamentales mas no frutales.

- ☺ Debido a la perdida del manto de arena en el lecho de secado de lodos, específicamente por arrastre del material se debe hacer reposición del mismo.

- ☺ Se recomienda hacer una barrera natural alrededor de toda la PTAR para minimizar las altas temperaturas y purificar el ambiente con la siembra de arbustos específicos, en especial, cercanos a los filtros para mitigar los malos olores provenientes de éstos y reducir los problemas causados por las moscas.

- ☺ Es conveniente realizar labores de limpieza en el cauce del arroyo en el tramo circundante al batallón, para optimizar el proceso de remoción y hacia la autodepuración debido a las descargas contaminantes, ya que actualmente se encuentra en mal estado por la gran acumulación de residuos sólidos y líquidos que son arrojados sin ningún tipo de consideración por la comunidad, (Anexo A).

BIBLIOGRAFÍA

Instituto Nacional de Vías (Colombia). Normas de Ensayo de Materiales Para Carreteras. Santa fe de Bogotá D.C: el Instituto. 1998

JUÁREZ, Eulalio. Mecánica de suelos, Tomo 1. Editorial. Limusa. México. 2000

METCALF – EDDY. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Editorial Labor, S.A. Barcelona. 1981

Ministerio de Agricultura (Colombia). Decreto 1594 de 1984. Santa fe de Bogotá D.C: el Ministerio. 1984

Ministerio de Desarrollo Económico (Colombia). Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS 2000. Santa fe de Bogotá D.C: el Ministerio. 2000

Ministerio del Medio Ambiente (Colombia) Guía Gestión Para el Manejo, Tratamiento Y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales. Santa fe de Bogotá D.C: el Ministerio. 2001

Plan de Ordenamiento Territorial de Corozal (P.O.T) 2001

ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y Principios de Diseño. Editorial. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa fe de Bogotá. 1999

PAGINA EN INTERNET

www.carsucre.gov.co

www.minambiente.gov.co

www.onu.org

ANEXOS