

2ij 99

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA



**EVALUACION DEL SISTEMA ELECTROMECA-
NICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE CD. UNIVERSITARIA**

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n:

*Victor Manuel Sánchez Morales
Horacio Verdiguél Gómez
Adrián López Lazo
José Luis Álvarez Flores*

Director: Vicente Jonguitud Falcon.

México, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES	4
1.1 NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS	4
1.2 COMPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS	5
1.3 ELIMINACION DE LAS AGUAS NEGRAS	7
1.4 FUENTES DE SUMINISTRO DE LAS AGUAS NEGRAS	7
1.5 DISPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS	8
1.5.1 Evacuación por dilución	8
1.5.2 Evacuación como recarga de las aguas subterráneas ...	10
1.5.3 Evacuación sobre el terreno	10
CAPITULO II. METODOS BIOLOGICOS	12
2.1 CARACTERISTICAS GENERALES	12
2.2 FILTROS ROCIADORES	16
2.2.1 Filtros de escurrimiento normal	17
2.3 PROCESO DE BIODISCO	21
2.4 LODOS ACTIVADOS	24
2.5 TORRES BIOLOGICAS	34
2.5.1 Torres biológicas con medio plástico	36
CAPITULO III. EQUIPO ELECTROMECHANICO QUE SE USAN EN LA PLANTA ..	39
3.1 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE BOMBAS	39
3.1.1 Bombas rotatorias	39
3.1.2 Bombas centrífugas	48
3.1.3 Sistemas de bombeo de aguas residuales	53
3.2 MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA Y MOTOR SINCRONO	61
3.2.1 Motores de corriente alterna	61
3.2.2 Motor síncrono	67
3.2.3 Características de operación de motor	68
CAPITULO IV. DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE - -	74
AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD UNIVERSITARIA	74
4.1 DISEÑO DE LA PLANTA	75
4.1.1 Necesidad de construcción	75
4.2.2 Componentes del proceso	75
4.2 CAPTACION DE AGUAS RESIDUALES	77
4.2.1 Rejillas	81
4.2.2 Cárcamo de captación	81
4.2.3 Tubería de alimentación	83
4.3 PRETRATAMIENTO	85
4.3.1 Desarenador	85
4.3.2 Medidores parshall	86

4.4	SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	93
4.4.1	Tanque de aereación	94
4.4.2	Aereadores	94
4.4.3	Sedimentadores secundarios	96
4.4.4	Cárcamo de recirculación de lodos	100
4.4.5	Caja partidora del sistema de lodos activados	100
4.5	SISTEMA DE BIODISCOS	103
4.6	SISTEMA DE FILTRO PERCOLADOR	106
4.6.1	Torre percoladora	107
4.6.2	Caja partidora	110
4.7	FILTROS DE ARENA	112
4.8	CARCAMO DE AGUAS TRATADAS Y DE CLORACION	114
4.9	CARCAMO DE AGUAS DE LAVADO Y PLUVIALES	116
4.10	EQUIPOS ELECTROMECANICOS QUE SE USAN EN LA PLANTA	119
4.10.1	Subestación eléctrica	119
4.10.2	Bombas sumergibles	120
4.10.3	Bomba sumergible	121
4.10.4	Bomba sumergible	122
4.10.5	Bomba sumergible	123
4.10.6	Motor gusano desarenador	124
4.10.7	Motor sedimentador	124
4.10.8	Motor aereador	125
4.10.9	Motor biodisco	126
4.10.10	Motores bombas verticales	126
CAPITULO V. PROBLEMAS OPERATIVOS CAUSADOS POR LOS EQUIPOS E INSTALACIONES		128
5.1	COLECTORES	128
5.2	REJILLAS	128
5.3	CARCAMO DE CAPTACION	129
5.4	EQUIPO DE BOMBEO	129
5.5	MEDIDORES PARSHALL	130
5.6	DESARENADOR	130
5.7	SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	131
5.7.1	Tanque de aeración	131
5.7.2	Aereadores	131
5.7.3	Sedimentador secundario	132
5.8	SISTEMA DE BIODISCOS	132
5.8.1	Tanque de biodisco	132
5.8.2	Sedimentador secundario II	133
5.9	SISTEMA DE FILTRO PERCOLADOR	133
5.9.1	Cárcamo de bombeo	133
5.9.2	Torre percoladora y filtro percolador	133
5.9.3	Caja partidora	134
5.9.4	Sedimentador Secundario II	134
5.10	FILTROS	134
5.11	CARCAMO DE AGUAS TRATADAS Y DE CLORACION	135
5.12	CARCAMO DE AGUAS DE LAVADO Y PLUVIALES	135

	PAGINA
5.13 ACCION DEL TIEMPO EN LAS TUBERIAS	135
5.14 SUB-ESTACION	136
CAPITULO VI. ANALISIS Y EVALUACION DE BOMBAS Y MOTORES	137
6.1 ANALISIS Y EVALUACION DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES.....	138
6.1.1 Mediciones de gasto	138
6.2 ANALISIS Y EVALUACION EN LOS MOTORES	157
6.2.1 Mediciones de voltaje y amperaje	157
CAPITULO VII. MANUAL DE MANTENIMIENTO	170
7.1 MANUAL DE INSTALACION Y MANTENIMIENTO PARA LAS BOMBAS SUMER	
GIBLES SERIE LG	170
7.1.1 Manejo	170
7.1.2 Instalación eléctrica	171
7.1.3 Precauciones de operación	171
7.1.4 Instalación hidráulica	173
7.1.5 Mantenimiento	175
7.2 BOMBAS VERTICALES TIPO TURBINA	176
7.2.1 Instrucciones de mantenimiento general	176
7.2.2 Desensamble	178
7.2.3 Inspección y limpieza	181
7.2.4 Reemplazo	181
7.2.5 Chumaceras	183
7.2.6 Anillos de desgaste	183
7.2.7 Lubricación	184
7.2.8 Ensamble	184
7.2.9 Precaución	186
7.3 FALLAS EN LOS MOTORES	186
7.3.1 El motor no quiere arrancar	186
7.3.2 Sobre calentamiento de la armazón del motor	187
7.3.3 El motor vibra	188
7.3.4 Calentamiento en los cojinetes de bolas	188
7.3.5 Cojinetes de bolas ruidosas	189
7.4 FALLAS EN EL COMPRESOR.....	189
7.4.1 Presión muy baja	189
7.4.2 El compresor sobrecarga el motor	190
7.4.3 Capacidad insuficiente	191
7.4.4 Sobre calentamiento del compresor	191
7.4.5 Golpeteo del compresor	192
7.4.6 Vibración del compresor	192
7.4.7 Se funden los fusibles	193
7.4.8 Consumo excesivo de aceite	193
7.5 FALLAS DE LA BOMBA DE TURBINA	194
7.5.1 La bomba no arranca	194
7.5.2 La bomba no arroja agua	195
7.5.3 La bomba consume demasiada energía	196

	PAGINA
7.5.4	Baja capacidad de la bomba 196
7.5.5	Demasiada vibración 197
7.6	FALLAS EN LAS BOMBAS SUMERGIBLES 198
7.6.1	Fallas en la flecha de la bomba 198
7.9.2	Fallas en los cojinetes 198
7.6.3	Daños internos en la bomba 199
7.6.4	Falla en el suministro del líquido 199
7.6.5	La bomba no proporciona la capacidad nominal 199
7.6.6	Baja presión en la descarga de la bomba 200
7.6.7	La bomba sobrecarga el motor 200
7.6.8	Vibración 201
7.6.9	Sobrecalentamiento en los cojinetes 201
7.6.10	Los cojinetes se desgastan rápidamente 201
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 202	
BIBLIOGRAFIA 203	

INTRODUCCION

Igual que en otras urbes del mundo, los problemas de la Ciudad de México son producto de una compleja interacción de factores políticos, económicos y sociales. En el Distrito Federal, la población ha crecido rápidamente a causa de la alta concentración de la actividad económica, y junto con ella ha incrementado su área urbana difícil de controlar.

Entre otras cosas, esto ha ocasionado graves problemas de contaminación del agua, siendo las fuentes de alteración más comunes las descargas de aguas residuales municipales, industriales y de retorno agrícola, así como la disposición de residuos sólidos en cauces, la sobre-explotación y la deforestación.

Para amortiguar los efectos de dichos problemas existen ocho plantas de tratamiento de aguas residuales, basadas en el proceso de lodos activados que utiliza equipo de aereación mecánica o de difusión. Estas instalaciones requieren altos costos de inversión, operación y mantenimiento.

Es por ello que las plantas de tratamiento de aguas residuales adquieren una gran importancia ya que ellas permitirán eliminar una gran parte de lo contaminante, de las aguas residuales, logrando con esto que las aguas ya tratadas sean reutilizadas para actividades de riego o bien sean desalojadas al medio ambiente sin poner en peligro el sistema ecológico.

Por tal motivo es necesario que las plantas de tratamiento operen lo más adecuadamente posible.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria fue construida con el doble propósito, primero depurar y permitir la reutilización de las aguas residuales generadas en las actividades de docencia e investigación; y segundo permitir, mediante el empleo de diversos sistemas, el adiestramiento de personas que identifiquen a este campo como adecuado para su desarrollo profesional.

Es en este segundo aspecto que el presente trabajo tiene como objetivo primordial el de analizar los elementos que integran los sistemas de tratamiento, y con base en los conocimientos adquiridos por un grupo de alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica, tratar de dar alternativas de solución hacia problemas operacionales que se presentan en dicha planta.

El trabajo por lo tanto queda integrado de la siguiente forma: en primer lugar se hace una breve descripción de los diferentes procesos con que se cuenta para realizar la depuración de las aguas residuales, para posteriormente hacer una descripción detallada de la planta de Ciudad Universitaria, dedicando especial atención a los elementos electromecánicos. Una vez identificados los componentes de interés para el trabajo, se realizó una revisión bibliográfica para establecer las principales características de dichos elementos. Finalmente y con base en el análisis de los problemas operativos más frecuentes o que se consideraron de mayor

importancia, se llevó a cabo un estudio para determinar las causas de una aparente falta de capacidad de la mayor parte de las bombas empleadas en el proceso. Para este fin se midieron voltajes y amperajes, gastos, cargas, pérdidas, etc., y se concluyó que el problema tenía su origen en la carga eléctrica proporcionada por la subestación eléctrica.

Como punto final y como apoyo a las autoridades encargadas de la operación del sistema, se integró un manual de mantenimiento preventivo integrado con información proporcionada por los fabricantes de los equipos.

Queremos de una manera especial, reconocer y agradecer el apoyo brindado por el personal encargado de la operación de la planta quienes a pesar de los problemas ocasionados por el grupo de trabajo que se integró para este estudio, estuvieron siempre en la mejor disposición de colaborar intensamente.

I ANTECEDENTES

En este capítulo se desarrolló una investigación sobre la composición, eliminación, tratamiento, fuente de suministro y disposición de las aguas negras para su mejor aprovechamiento.

Puesto que estas aguas negras contienen una gran cantidad de desechos orgánicos es necesario aplicar un método de tratamiento adecuado para su disposición final y satisfacer con ello la creciente demanda de agua para riego en Ciudad Universitaria.

I.I NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS (1)

Por la composición de las aguas negras, éstas deben tener un tratamiento previo, antes de su disposición ya sea como recarga de las aguas subterráneas, irrigación, vertido en corrientes o usos domésticos e industriales.

Para no dañar las zonas en donde se desalojarán estas aguas, éstas deben transformarse previamente de tal forma que no resulten dañinas o peligrosas en el medio donde se les dará la disposición final.

Las aguas negras contienen grandes cantidades de materia orgánica, la cual provoca su descomposición ayudada por la acción de bacterias y microorganismos. Cuando existe oxígeno en abundancia en las aguas negras, actúan ciertas bacterias llamadas aerobias y cuando falta, entran en acción

las anaerobias. Esta descomposición va acompañada de malos olores debido a la producción de gases generalmente sulfurados provenientes de los lodos acumulados en el fondo de los sitios que los contienen y de espumas acompañadas de cuerpos flotantes en su superficie.

La naturaleza efectúa la transformación de estas aguas en formas más estables por medio de la acción de los rayos solares, las bacterias, las algas y otros microorganismos; así como la infiltración, la evaporación y la dilución en aguas de mejor calidad. Esto hace que al pasar el tiempo las aguas negras, de acuerdo con el ciclo hidrológico, vuelvan a servir para el consumo de las plantas, de los animales y de los hombres.

Actualmente este cambio debe acelerarse por medio de algún sistema que efectúe ésta transformación de una forma más rápida, ya que las necesidades de grandes volúmenes de aguas para todo tipo de usos y la contaminación existente, es cada vez más apremiante.

1.2 COMPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS

La razón básica para conocer cuál es el contenido de las aguas negras, es para determinar cuál es el tratamiento necesario y permitir la aplicación de los métodos más efectivos. Las aguas negras domésticas no son un producto estandarizado, pero sus variaciones en características están usualmente dentro de límites razonables. Los desperdicios industriales difieren de las aguas negras en que no están de acuerdo con algún patrón estandar. Varían en su composición y características; no solo para produc-

tos diferentes sino también para plantas que fabrican el mismo producto.

Las aguas negras contienen una pequeña cantidad de sólidos en un volumen proporcionalmente enorme de agua. En las aguas negras domésticas ordinarias, pueden esperarse que una tonelada o más de agua, lleve 450 gramos de sólidos, de los cuales la mitad están en solución; una cuarta parte se depositará y la restante estará en suspensión.

Las aguas negras ordinarias frescas tienen un color gris, y un aspecto parecido al agua de jabón de fregar platos. Contienen partículas sólidas en suspensión, que son visibles a simple vista. Si las aguas negras son frescas pueden distinguirse algunos de los materiales en suspensión.

Las materias sólidas de las aguas negras se pueden clasificar en orgánicas e inorgánicas. Los sólidos orgánicos que constituyen generalmente del 40 al 70% de los sólidos totales, determinan olores a podrido y crean las mayores dificultades en lo que se refiere a la evacuación de las aguas negras. Los sólidos inorgánicos son generalmente inocuos y están constituidos en su mayor parte, por partículas de arena que se depositan con facilidad.

El olor de las aguas negras recientes o frescas, es ligero y no necesariamente desagradable. Las aguas negras tienen un olor ligeramente picante, algo parecido al de un sótano húmedo y mal ventilado. Las aguas negras en proceso de alteración son negras y desprenden olores nauseabundos de sulfuro de hidrógeno y otros gases. Si las aguas negras están tan

alteradas que llegan a ser sépticas, se ven burbujas gaseosas en la superficie y puede formarse una espuma negra o gris.

1.3 ELIMINACION DE LAS AGUAS NEGRAS

La reunión y concentración de los residuos líquidos de una comunidad, crea el problema de la evacuación, que es necesario resolver para proteger la salud y el bienestar social. Para esto es necesario darle a las aguas una disposición que consiste en estabilizarlas por medio de algún tratamiento y así descargarlas a un río, corriente, lago o hacia algún océano sin contaminarlos.

Si los sitios donde se descargan las aguas negras o la naturaleza del terreno donde se vierten dichas aguas, no son adecuados, puede crearse un serio problema ecológico. El objetivo de todos los métodos de tratamiento de aguas empleado hasta hoy ha sido transformarlas en un residuo líquido que pueden evacuarse sin peligro y en otros casos evitar la contaminación de fuentes de agua potable.

1.4 FUENTES DE SUMINISTRO DE LAS AGUAS NEGRAS

Estas fuentes contemplan básicamente sistemas de alcantarillas ó atarjeas en los cuales se suministra el efluente de desperdicio derivado de fuentes domésticos industriales y captación de aguas de lluvia.

La cantidad de agua consumida que se vierte en un sistema de alcanta-

rillas es generalmente un poco menor que la cantidad que se proporciona a la comunidad. No llega a las atarjeas toda el agua suministrada por los servicios públicos, a causa de las pérdidas en las tuberías de distribución de riego de jardines, de agua consumida en los procesos industriales, etc, pero éstas pérdidas suelen ser compensadas ampliamente por las aportaciones de abastecimientos particulares de agua, por la captación de lluvias y por otras adiciones.

1.5 DISPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS

Los métodos de evacuación de las aguas negras se refieren a su descarga en un volumen de agua o en una corriente y sobre ó bajo la superficie del terreno. Las aguas negras pueden evacuarse sea con tratamiento previo ó sin el, según la capacidad del agua o del terreno que los reciban, para admitir la carga que se coloque sobre ellos sin causar perjuicios.

1.5.1 Evacuación por dilución

Consiste en descargar aguas naturales ó brutas, ó los líquidos procedentes de las instalaciones de tratamiento, en una cantidad de agua de suficiente magnitud para que no se produzcan molestias para los sentidos y se eviten daños a la salud pública. Las limitaciones respecto a las características de los líquidos residuales que pueden arrojarse a las corrientes naturales no son uniformes, pero en general, cuando no haya riesgo para la salud, las aguas negras deben recibir, por lo menos, un tratamiento primario, para reducir sólidos en suspensión a un máximo de

100 a 150 mg/lt, y la demanda bioquímica de oxígeno a menos de 100 mg/lt.

Entre las condiciones necesarias para la evacuación satisfactoria por dilución figuran: La existencia de corrientes adecuadas, que eviten la sedimentación y conduzcan las aguas lejos de las poblaciones, antes de que se inicie la putrefacción, ó un volumen suficiente de agua de dilución rica en oxígeno disuelto, para evitar la putrefacción y suficiente para mantener peces y otros seres vivos.

Un tipo de aguas recientes no sépticas. Ausencia de corrientes de retroceso, ó de remansos tranquilos, favorables a la sedimentación en la corriente donde se está realizando la descarga.

Las condiciones que deben evitarse son: Los olores desagradables debidos a la formación de bancos de lodos, el desprendimiento de gases sépticos, los sedimentos sobre las orillas, el excesivo agotamiento del oxígeno, el cambio de color permanente, la presencia de peces muertos y de materiales flotantes ó en suspensión.

En la mayor parte de los casos, se debe impedir que penetren organismos patógenos en las aguas superficiales, para evitar la difusión de enfermedades.

Si las aguas negras que se han de evacuar por dilución contienen permanentemente materiales flotantes, aceite, grasa, ó tienen un elevado contenido de sólidos sedimentables, ninguna cantidad de oxígeno en el

agua de dilución podrá evitar que se produzcan características perjudiciales o que se formen depósitos de lodo en las orillas, en tales casos será necesario establecer rejillas ó cámaras de sedimentación, o ambas cosas, a fin de detener los materiales flotantes ó sedimentables. Pueden ser necesarios métodos biológicos o de otro tipo, para eliminar otras características desfavorables.

1.5.2 Evacuación como recarga de las aguas subterráneas

El efluente de las plantas de tratamiento de aguas negras también se utiliza para la recarga de las aguas subterráneas. La recarga se puede llevar a cabo mediante depósitos de repartición, que permiten a las aguas negras que se infiltran y lleguen hasta las aguas subterráneas, ó bien, se pueden enviar hasta los extractos acuíferos que alimentan a los pozos. En cualquier caso, se debe dar a las aguas un alto nivel de tratamiento para evitar que tapen y obstruyan el suelo en que se están filtrando.

1.5.3 Evacuación sobre el terreno

La inundación con aguas negras consiste en derramarlas sobre la superficie del terreno, desde la cual se evapora una parte, filtrándose el resto, para ser evacuado después por las zanjas superficiales de drenaje. El riego con aguas negras es una inundación destinada a la producción de cosechas. La inundación y el riego con aguas negras, difieren de la infiltración intermitente en arena, en la intensidad de la aplicación de las aguas negras, en el método de preparación del área sobre la cual

se van a tratar las aguas negras, y los cuidados en la operación. En la inundación y la filtración intermitente en arena, la consideración principal es la evacuación satisfactoria de las aguas negras. En el riego con las aguas negras, la consideración fundamental es la producción de cosecha. En general, el riego y la producción de cosechas, solo dan beneficios en condiciones especiales.

El suelo más adecuado para la inundación, es el suelo poroso arenoso, con suficiente pendiente y un buen drenaje subterráneo. Los suelos arcillosos impermeables ó compactos, son inadecuado y no deben usarse.

2 METODOS BIOLOGICOS

En este capítulo se hizo un análisis de los diferentes procesos de tratamiento de aguas negras con los que cuenta la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria.

Principalmente esta investigación esta enfocada al método biológico en el cual los sistemas de tratamiento de aguas negras que se emplean en la planta son los siguientes:

Biodisco

Lodos Activados

Torres Biológicas con medio plástico

En este capítulo se describen de una manera general los diferentes métodos, y considerando que el principal objetivo es el empleo de elementos electromecánicos, los fundamentos biológicos se analizan solo superficialmente.

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES (2)

El tratamiento biológico es la clave de la depuración de efluentes líquidos.

La contaminación es un conjunto de desechos, de residuos que provienen

directa o indirectamente de las actividades del hombre. Se trata, la mayoría de la veces, de agregados moleculares muy complejos.

La depuración es de hecho una destrucción de estos agregados complejos. Si lo realiza la naturaleza, se trata de la autodepuración de los ríos, o bien la autodepuración que se produce en el suelo o en su superficie.

La depuración biológica en las estaciones de tratamiento es una imitación de la naturaleza con una aceleración de los efectos naturales.

Los microorganismos son seres vivos y por consiguiente con necesidad de energía, encontrándola exactamente igual que el hombre atacando la naturaleza.

Esta degradación de las moléculas complejas por las bacterias no se hace directamente. Las bacterias al igual que el hombre, utilizan intermediarios, que se han llamado biocatalizadores, estos intermediarios son las enzimas. Las enzimas son sustancias orgánicas solubles, generalmente proteínas, que permiten a un organismo viviente desdoblar las moléculas que constituyen su alimento para formar sus propias células.

Para vivir y multiplicarse, las bacterias necesitan alimento de base, como son las sustancias contaminantes que deben degradarse, deben desarrollar las enzimas particulares adaptadas a la naturaleza de la contaminación presente, y si se trata de bacterias aerobias necesitan oxígeno.

Si las bacterias se introducen en un medio nutritivo se pueden distinguir tres fases:

1. Una fase de adaptación que dura un tiempo no despreciable durante la cual la multiplicación de las bacterias es nula o muy lenta.

2. Una fase de crecimiento exponencial, en la que las bacterias se multiplican dividiéndose en dos, a un ritmo acelerado y regular, con la condición de que no falten ciertos oligo-elementos y que el medio no contenga venenos e inhibidores. Durante este período es necesario igualmente que no haya falta de oxígeno si se trata de bacterias aerobias.

3. Una fase de decrecimiento cuando el alimento escasea durante la cual la tasa de mortalidad supera la tasa de división de las bacterias.

En la práctica de la depuración biológica, para suprimir la fase latente que puede durar varias horas, se ponen directamente en contacto con las aguas a tratar, bacterias preformadas, en buen estado, y sanas. Se mejorará el sistema de funcionamiento poniendo en contacto los efluentes frescos no solamente con las bacterias que están ya en suspensión en el tanque en el que se admite este influente fresco, sino además, asegurando un retorno regular de los lodos cargados de bacterias activas que se mezclará con el influente fresco en la cabeza del tanque de lodos activados.

Para que estos lodos sean activados y que las bacterias estén sanas, es necesario que no hayan estado sometidas a un régimen desfavorable,

es decir, almacenadas sin oxígeno y sin alimentación por periodos prolongados.

Si consideramos un influente decantado y que sólo contiene muy pocas materias fecales en suspensión y cargado de polución en forma coloidal o disuelta, se puede distinguir dos etapas sucesivas.

La primera etapa es una etapa prácticamente física. El contacto con los aglomerados de lodos y las enzimas contenidas en estos lodos provoca una floculación de las moléculas orgánicas coloidales; una precipitación quizás menos rápida de las moléculas orgánicas disueltas que se unen por contacto a los coloides floculados, y que son absorbidas por los flóculos de los lodos biológicos. Se produce entonces, durante un lapso de tiempo, que tiene una cierta duración pero que es relativamente corto, una transferencia de la contaminación orgánica de la fase líquida, es decir, del influente hacia los flóculos biológicos, estas materias orgánicas se oxidan y degradan y las colonias bacterianas crecen. Todo ello no se puede producir evidentemente, más que manteniendo cuidadosamente el nivel de oxígeno necesario para la vida de estos microorganismos aerobios. Estas dos fases se resumen en una transferencia de la contaminación de la fase líquida al aglomerado de lodos. La tercera fase del desarrollo de las colonias bacterianas, en la que los lodos se consumen y las colonias bacterianas se consumirán a si mismas en el proceso denominado respiración endógena y perderán una parte de su nocividad.

Una visión clara de estos fenómenos permite comprender que todas

las clasificaciones de los procedimientos de tratamiento son relativamente arbitrarias, de hecho se trata siempre del mismo tratamiento biológico pero que se le detiene en una fase más o menos desarrollada de su evolución.

Estos principios básicos han sido aplicados con aportaciones ingenieriles al tratamiento masivo de las aguas negras generándose distintas variantes de procesos, que aprovechan condiciones especiales en el desarrollo de los microorganismos.

Existen dos grandes grupos de procesos que aprovechan el metabolismo aerobio para la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales los que mantienen a los microorganismos en suspensión mediante agitación, y los que provocan su crecimiento adheridos a un medio fijo.

Los principales procesos que mantienen a los organismos en suspensión son las lagunas aereadas mecánicamente y las variantes del proceso de lodos activados cuya principal característica es el incremento de biomasa en el tanque de aereación, mediante la recirculación de lodos biológicos concentrados. Por su parte, los principales procesos que aprovechan las poblaciones de microorganismos adheridos a un medio fijo son los filtros rociadores (biofiltros o filtros de escurrimiento), las torres empacadas y los biodiscos.

2.2 FILTROS ROCIADORES

2.2.1 Filtros de escurrimiento normal

a) Descripción

Un filtro de escurrimiento es un lecho de un material impermeable, grueso, áspero y duro, sobre el cual se esparcen las aguas negras o se distribuyen de otro modo a través del aire, después de lo cual las aguas negras van goteando a través del filtro en contacto con el aire. Una parte esencial del proceso en esta clase de filtros es la acción del oxígeno del aire (3).

El tratamiento de las aguas negras en un filtro de escurrimiento comprende 3 fases: Un tratamiento preliminar o primario, la filtración y la sedimentación final.

La acción del filtro se debe a la oxidación por los organismos adheridos al material del filtro. La materia orgánica de las aguas negras depositada sobre la superficie, es atacada y oxidada por las bacterias aerobias, y pasa al líquido saliente en un estado altamente nitrificado y floculado. A veces, la descarga de materiales en suspensión se hace tan grande, que se dice que el filtro se está descargando.

En general se consideran 2 tipos de filtro: El filtro de escurrimiento normal y el filtro de escurrimiento rápido, diferenciándose por la cuantía de la dosis de aguas negras y el modo de funcionamiento.

b) Ventajas y Desventajas

Entre las ventajas de un filtro de escurrimiento se pueden incluir:

- Su efecto nitrificante relativamente alto.
- Capacidad para producir un líquido de buena calidad.
- Gran variedad de calidad de líquidos entrantes.
- Costo de funcionamiento bajo.
- Capacidad para funcionar en condiciones climatológicas extremas.
- Eficacia en la reducción en la DBO y en los sólidos en suspensión en aguas negras.

Entre las desventajas en los filtros de escurrimiento se encuentran:

- Pérdida de carga a través del filtro.
- Producción de olores y desarrollo de moscas.
- Costo de construcción elevado.
- Es necesario un tratamiento preliminar a base de cribas y sedimentación.

c) Velocidad de la filtración y carga

Las velocidades y cargas que deben preverse para el proyecto de filtros de escurrimiento, suelen expresarse en $\text{m}^3/\text{día}$, por el área superficial del filtro, y con una carga orgánica que suele expresarse en kg de DBO/unidad de volumen del filtro. Esta carga que actúa en el filtro rociador,

es de dos tipos hidráulica y orgánica.

d) Diseño de los filtros de escurrimiento

Características primarias del filtro:

- Carga con la que tiene que funcionar
- Material para el filtro
- Espesor del lecho (limitada por las condiciones topográficas)

Características funcionales:

- Método de distribución.
- Tanques o sistemas de dosificación.
- Sistema o equipo de distribución.
- Drenaje subterráneo
- Método de ventilación.

Características Primarias

a) Material para filtros

El material para filtros de tipo medio debe estar formado por trozos adecuados, duros, con las 3 dimensiones tan iguales como sea posible, limpios y sin polvo, residuos de cribado, u otro material fino. Debe de ser de un tamaño tan uniforme como sea posible, y no desintegrarse

durante su uso, sea por romperse en pedazos más pequeños; o por deshacerse en material más fino.

Los tamaños de materiales para el filtro que han dado mejores resultados, varían entre 2.5 a 7.5 cm, con tamaño uniforme desde la parte superior hasta el fondo, o posiblemente con una capa de 15 cm de material más grueso, inmediatamente arriba de los drenes subterráneos.

Esta aceptado que el medio filtrante debe consistir de piedra quebrada o escoria y que todas las partículas pequeñas y el polvo deben eliminarse mediante mallas y lavado. Un medio filtrante que sea atacado por los constituyentes ácidos de las aguas negras es indeseable.

Otros tipos de medio filtrante tienen una capacidad de tratamiento mayor que la de la piedra quebrada o de escoria. En el tratamiento de desperdicios industriales sometidos a fuertes cargas se ha utilizado un medio sintético que presenta un área de contacto mucho mayor; por ejemplo bloques de plástico endurecido y la experiencia indica que tiene aproximadamente el doble de la habilidad oxidante de la piedra.

b) Profundidad del lecho

Se encuentra una gran variación en las profundidades del lecho de los filtros establecidos entre un mínimo de 1.80 m a un máximo de 3.00 m. En el caso de los filtros más profundos, pueden registrarse dificultades por ventilación deficiente o por encharcamiento sobre la superficie,

a causa de la mayor cantidad de líquido que hay que aplicar, como consecuencia de la profundidad adicional.

La ventilación permite el uso de filtros profundos y mayores dosis de aplicación de las aguas negras. Este método tiene la ventaja de que reduce el área superficial necesaria para el filtro, pero aumenta la profundidad de éste y por tanto la pérdida de carga alrededor.

c) Carga de funcionamiento

La carga que actúa sobre el filtro es de dos tipos, hidráulica y orgánica. La carga hidráulica es el ritmo de aplicación del líquido a la superficie. La carga orgánica esta dada en DBO aplicada.

2.3 PROCESO DE BIODISCO (4)

Una unidad de biodiscos consiste en una serie de placas de plástico circulares rotatoria sumergidas aproximadamente un 40% dentro de un tanque semicircular. Los discos están espaciados de tal forma que durante la sumergencia el agua residual, pueda penetrar entre las superficies. Cuando se encuentra fuera del tanque el aire entra entre los espacios de los discos, mientras que el líquido escurre sobre la película fija de crecimiento biológico adherido al medio. La exposición alternada a la materia orgánica en el agua residual y oxígeno en el aire es similar a la dosificación de filtros biológicos con un distribuidor revolvente. El exceso de sólidos microbianos se desprenden del medio y son arrastrados fuera

del proceso a través del efluente y separados por gravedad en un clarificador secundario. Plantas construidas en Europa y en los Estados Unidos, han demostrado algunas ventajas cuando se comparan con otros procesos biológicos. El tratamiento mediante biodiscos provoca un menor consumo de energía, mayor estabilidad del proceso y menor cantidad de lodos de desecho que los lodos activados. Una aeración eficiente y el incremento de tiempo de contacto entre la biomasa y las aguas residuales producen un mejor tratamiento que los filtros rociadores.

Descripción del tratamiento en biodiscos

Los discos de plástico a escala real son manufacturados tanto planos como corrugados en diámetros de 3 a 4 metros. El agua residual sedimentada es aplicada a la primera de una serie de módulos de discos separados por mamparas. Como se aprecia en la figura 2.1. El lento movimiento de las aguas residuales a través de las etapas, simula un flujo pistón. Los sólidos suspendidos desprendidos de la superficie de los discos son recolectados durante la sedimentación del efluente. En las plantas paquete se utiliza un recolector de lodos sujeto a la flecha rotatoria para remover los sólidos de la cámara cilíndrica del clarificador. En instalaciones mayores, las diferentes etapas del biodisco están sujetas a flechas separadas colocadas cada una de ellas en su propio tanque semicircular de concreto reforzado. Aquí las aguas residuales fluyen en serie a través de las diferentes unidades perpendiculares a la flecha; con la clarificación del efluente llevándose a cabo en sedimentadores convencionales circulares. El proceso de biodisco es un tratamiento de un solo paso, por lo que la

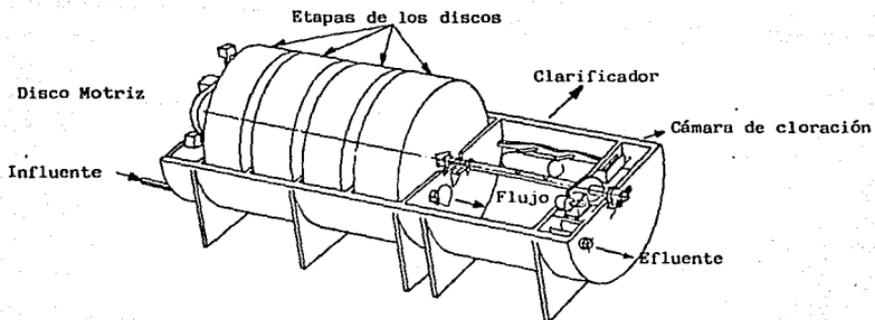


FIG. 2.1 Disco biológico de una Planta Piloto para estudios de tratamiento de campo.

recirculación dentro de la planta no se práctica. En climas fríos, el medio debe ser cubierto para protegerlo de temperaturas de congelamiento; para lo cual se pueden utilizar cubiertas de plástico para encerrar las etapas de los biodiscos, o las unidades pueden ser situaciones en edificios adecuados con buena ventilación. En climas calientes, esta cubierta evita el desarrollo de insectos indeseables y controla la posible dispersión de malos olores. En plantas de biodiscos a escala real se ha podido demostrar que a pesar de pronunciadas fluctuaciones en los gastos de agua residual, las eficiencias se mantienen entre 80 y 90% independiente de la temperatura. Estos estudios han demostrado que los procesos de biodisco promueven operación estable bajo condiciones de variaciones de carga hidráulica y orgánica; y las remociones de DBO y Sólidos suspendidos indican que es posible producir efluentes de buena calidad en el tratamiento secundario de aguas residuales municipales. La alta densidad de los sólidos en los lodos de desecho permiten suponer que la disposición final puede ser llevada a cabo en forma económica por procedimientos convencionales.

2.4 LODOS ACTIVADOS (5)

El desarrollo del proceso de los lodos activados ha marcado un progreso importante en el tratamiento secundario de las aguas negras. Similarmente a los filtros rociadores, es éste un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos.

Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

No obstante, el medio ambiente, por sí mismo, no logra mucho, a no ser que esté poblado por suficientes operarios vivientes.

Las aguas negras comunes contienen algunos de estos operarios biológicos pero su número es demasiado pequeño para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido. Es necesario, por lo tanto, agregar mucho más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficacia.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación simple. Las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados.

Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten, principalmente, en materia orgánica procedente de las aguas negras, poblados por colonias de bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos

suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento el material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles. Casi toda esta transformación es un proceso que se verifica gradualmente. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento por las bacterias.

La generación de lodos activados o flóculos en las aguas negras es un proceso lento de manera que la cantidad así formada en cualquier volumen de aguas negras, durante su período de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápida y eficazmente las aguas negras pues se requiere de una gran concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas negras. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculados.

La excesiva acumulación, o exceso de lodos activados, se retira continuamente del proceso de tratamiento y se acondiciona para su disposición final.

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su período de contacto con las aguas negras a tratar, mediante algún método de agitación. Por lo tanto, el proceso de lodos activados consta de las siguientes

etapas:

1. Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.

2. Aeración y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.

3. Separación de los lodos activados, del licor mezclado.

4. Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.

5. Disposición del exceso de lodos activados.

Mezclado de los lodos activados con las aguas negras en tratamiento. Es muy importante que los lodos activados recirculados se mezclen bien con las aguas negras. Esto se lleva a cabo generalmente agregando los lodos recirculados a las aguas negras sedimentadas en el extremo de alimentación del tanque de aeración, donde la agitación efectúa un mezclado rápido y satisfactorio.

Aeración y agitación del licor mezclado. Con la aeración se logran los tres objetivos siguientes: El mezclado de los lodos recirculados con las aguas negras; el mantener los lodos en suspensión por la agitación de la mezcla y el suministro del oxígeno que se requiere para la oxidación

biológica.

Requerimientos de aire. La cantidad de aire que se requiere depende de los siguientes factores:

1. La carga de la DBO.
2. La calidad de los lodos activados.
3. La concentración de sólidos.
4. La eficiencia que se desee en el abatimiento de la DBO.

Tiempo de aeración. En el proceso de lodos activados, son los lodos los que efectúan la mayor disminución de la DBO y de la concentración de sólidos en las aguas negras en tratamiento, en un período de aeración relativamente corto. Sin embargo, los lodos necesitan mucho más tiempo para asimilar la materia orgánica que hayan absorbido. Durante este período hay que mantener el medio ambiente aerobio.

Separación de los lodos activados, del licor mezclado. Antes de que pueda disponerse de las aguas negras tratadas en un tanque de aeración, descargándolas en aguas receptores, hay que separar los lodos activados. Esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria o final.

El ciclo de remoción de los lodos en los tanques secundarios tienen mayor importancia que en los tanques primarios, pues cierta proporción de lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el tanque de aeración. El exceso de lodos debe eliminarse antes

de que pierda su actividad por la muerte de los organismos aerobios debido a la falta de oxígeno en el fondo del tanque.

Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados para mezclarlos con las aguas negras. La cantidad de lodos devueltos al tanque de aeración ha de ser suficiente para producir la purificación deseada en el tiempo disponible para la aeración y no obstante lo suficientemente corto para lograr un aprovechamiento económico de aire. La concentración óptima debe determinarse en cada planta por tanteos en la operación y debe mantenerse cuidadosamente controlando la proporción de lodos recirculados. La concentración máxima queda limitada por el suministro de aire y por la carga de las aguas negras.

Tratamiento y disposición del exceso de lodos activados. El exceso final de lodos activados se trata y dispone junto con los lodos de los tanques de sedimentación primaria.

La práctica más común es, probablemente, la que consiste en bombear el exceso de lodos al extremo del influente del tanque de sedimentación primaria, donde se depositan junto con los sólidos de las aguas negras crudas. Los lodos activados se sedimentan rápidamente y, debido al carácter más floculento de las partículas de lodos, tienden a arrastrar consigo parte de los sólidos no sedimentables de las aguas negras, disminuyendo así la carga de materia orgánica y de sólidos en el tanque de aeración.

Modificaciones al proceso convencional de lodos activados.

Aeración escalonada en este proceso: Las aguas negras entran al tanque de aeración por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas negras. Por lo tanto, la concentración de sólidos de los lodos en el licor mezclado, es mayor en la primera etapa o lugar de entrada y disminuye a medida que se introducen más aguas negras en las etapas subsiguientes. Esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aeración. En este proceso se puede lograr un tratamiento que sea prácticamente equivalente al del proceso convencional de lodos activados, en casi la mitad del tiempo de aeración, si se mantiene la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de tres o cuatro días, ver figura 2.2

Aeración graduada. Este proceso se desarrollo basándose en la teoría de que se necesita mayor cantidad de aire durante el principio del período de aeración. Por este motivo, la proporción de aire que se introduce en las aguas negras es mayor en la sección de entrada del tanque de aeración, que en las secciones subsecuentes para satisfacer aproximadamente la utilización de oxígeno en las diversas secciones o etapas de aeración en el tanque.

Las ventajas que pretende esta modificación del proceso convencional son: Un mejor control del proceso cuando se presentan cargas repentinas y una disminución del costo de operación.

La aeración modificada. Esta modificación del proceso convencional

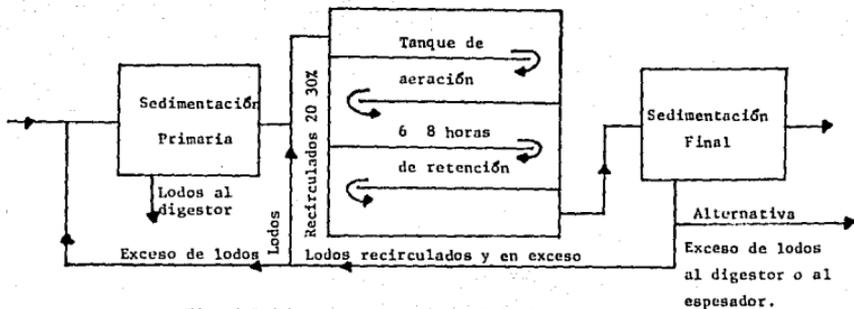


Fig. 2.2 (a) Proceso convencional de lodos activados

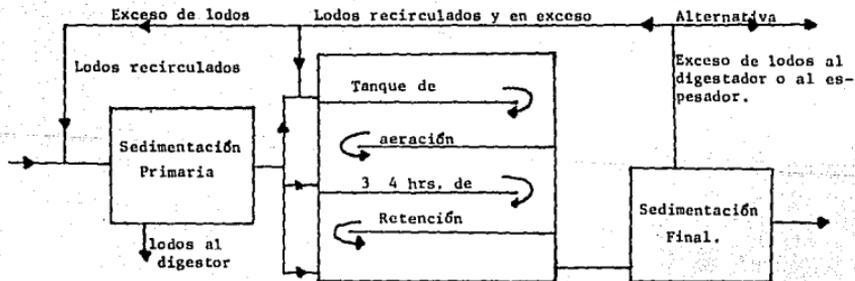


Fig. 2.2 (b) Aeración Escalonada

de lodos activados, figura 2.3 también se conoce como tratamiento intensivo con lodos activados. Es aplicable cuando las aguas receptoras requieren que se efectúe un mayor grado de tratamiento que el que se logra mediante el tratamiento primario, pero no mayores abatimientos de la DBO y de los sólidos suspendidos que el obtenido por el método convencional de los lodos activados.

Con este proceso se consigue un ahorro en los costos de construcción y de operación, así como menos superficie que en la planta convencional.

Aeración activada. Este proceso fue introducido recientemente en la Ciudad de Nueva York, figura 2.4 y es un tratamiento con un menor período de aeración. El cultivo que se produce en la sección de aeración activada, se área la porción de aguas negras sedimentadas que se enviaron ahí, con una baja concentración de sólidos de unas 200 a 400 ppm. Se destinan tanque de sedimentación final para ambas secciones, llenando a dar los efluentes a las aguas receptoras.

Estabilización por contacto. Es otra modificación al proceso convencional de lodos activados. En este método, los lodos biológicamente activos se ponen en contacto íntimo con las aguas negras durante 15 a 30 minutos solamente, tiempo durante el cual los lodos activados absorben un gran porcentaje de la materia contaminante suspendida, coloidal y disuelta, de las aguas negras. Entonces fluye la mezcla al tanque de sedimentación de donde se separan los lodos y se pasan a un tanque regenerador en el que se estabiliza y regenera por aeración. Esta modificación es aplicable

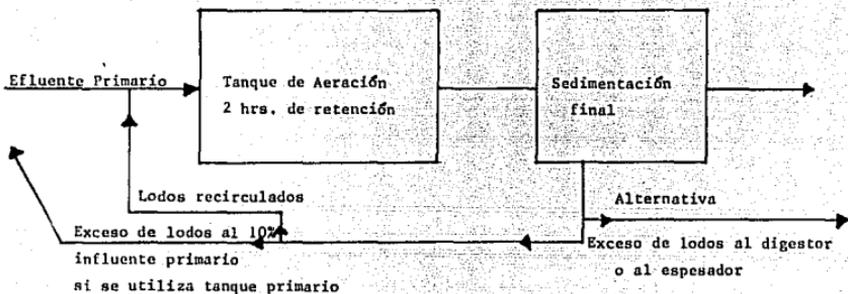


Fig. 2.3 (c) Aeración Modificada

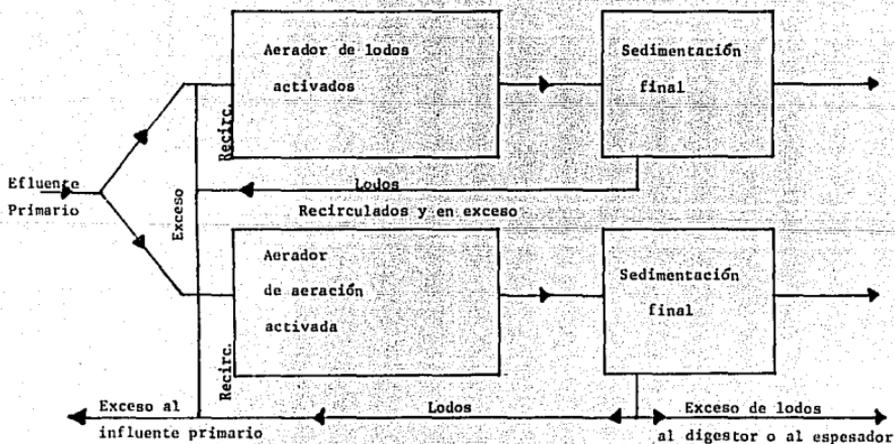


Fig. 2.4 (d) Aeración Activada

especialmente en el tratamiento de desechos industriales debido a que todo el suministro de lodos que se siembra no es vulnerable a las cargas repentinas por mantenerse la mayoría de la semilla bajo aeración por separado. Un atascamiento de desechos afectará solamente a la pequeña porción de lodos que se se esté mezclando con las aguas negras.

Digestión aerobia (oxidación total). En este proceso se aerea vigorosamente un flujo continuo de aguas con sus sólidos macerados, en un tanque diseñado para retener el flujo de un día. Después pasan las aguas negras aeradas a un tanque de sedimentación convencional para un doble objetivo: El efluente clarificado se derrama en las aguas receptoras y los lodos sedimentados se recirculan rápidamente al comportamiento de aeración.

Este proceso relativamente sencillo consiste en completar prácticamente la estabilización de la fracción putrescible de las aguas negras, por oxidación biológica, en un solo compartimiento. La experiencia ha demostrado que este proceso es muy sensible a los cambios repentinos de volumen y/o a las características de los desechos. Los lodos deben desecharse periódicamente del sistema para mantener el equilibrio y producir un efluente de alta calidad.

2.5 TORRES BIOLÓGICAS

La principal razón por la popularidad de los filtros rociadores con roca, son su simplicidad, bajos costos de operación y producción de lodo de desecho que es fácil de manejar. Sin embargo, cuando se tratan aguas

residuales municipales muy concentradas, los filtros de una sola etapa no pueden producir suficiente remoción de materia orgánica para alcanzar los estandares de efluentes y, en el caso de los sistemas de dos etapas, la primera unidad bajo alta carga puede tener problemas de taponamiento y emisión de malos olores. Se han desarrollado algunas formas de medio sintético para salvar estas desventajas de roca triturada mediante altas áreas superficiales (m^2/m^3), con un correspondiente alto porcentaje de espacios vacios. Esto permite un crecimiento biológico sustancial sin medir el paso del aire a través de la cama. Un medio uniforme también permite la distribución uniforme de la carga, y el empaque de bajo peso permite la construcción de lodos más profundos con la posibilidad de manejar desechos altamente concentrados. Las torres biológicas, que son generalmente de 4 a 7 m de profundidad, permiten un mayor tiempo de residencia de las aguas residuales, promoviendo que la reacción biológica proceda las profundidades dentro de la fase endógena. Las torres biológicas para el tratamiento de aguas residuales municipales son generalmente unidades de una sola etapa precedidas de sedimentación primaria, aunque en casos especiales, éstos pueden ser utilizados como filtros de baja eficiencia antes de la sedimentación primaria, son instalados para la operación de dos etapas cuando se manejan desechos industriales concentrados descargado a los sistemas de alcantarillado municipal. Las torres pueden ser circulares, utilizando un distribuidor rotatorio, o rectangulares con aspersores fijos para distribuir el agua residual. La recirculación directa se emplea para mantener el flujo deseado a través de la torre con un radio de recirculación en el rango de 1 a 3. algunas veces una parte del flujo de circulación es drenado desde el fondo del sedimentador secundario para desarro-

llar flóculos microbianos en el agua residual, circulando a través de la torre. El lodo de desecho acumulado en el sedimentador secundario se recircula al influente de la planta para que se sedimente en el clarificador primario. Las cargas orgánicas en las torres están generalmente en el rango de 0.8 a 2.4 kg/m³/día de DBO con aplicaciones hidráulicas de 0.68 a 3.4 lps/m². La carga de diseño exacta para una torre biológica depende de la concentración, biodegradabilidad y temperatura de las aguas residuales; tipo y profundidad del medio sintético empleado; y la forma y relación de la recirculación.

2.5.1 Torres biológicas con medio plástico.

Empaques de cloruros de polivinil se construyen generalmente de hojas planas y corrugadas alternadamente unidas en modelos rectangulares de 0.45 m³ a 0.50 m³. El medio puede ser transportado acomodando las placas de plástico juntas, para que al expanderse produzcan un volumen para instalación de aproximadamente 91.86 m²/m³, con un volumen vacío del 95%. El peso del empaque en una torre, incluyendo tanto el medio como el crecimiento biológico, se estima de 240.5 kg/m³. Debido a este peso tan ligero, la mayoría de los medios plásticos a nivel comercial tiene suficiente fortaleza estructural para soportarse así mismo en camas empacadas de hasta por lo menos 7 metros; mayores profundidades requieren estructuras intermedias. La remoción de la DBO en las torres biológicas con medio plástico tratando aguas residuales domésticas, puede ser estimado de la siguiente relación:

$$\frac{L_e}{L_o} = e^{- (0.088D/Q^{0.5})} \text{ ---Ec. 1}$$

donde L_e = DBO del efluente (mg/l)

L_o = DBO del influente (mg/l)

L_e/L_o = fracción de DBO remanente

D = Profundidad de la torre (m)

Q = Carga hidráulica (sin recirculación) ($l\text{ pm}/m^2$)

0.088 = Factor de tratabilidad para medio plástico

0.5 = Coeficiente n para medio plástico

Esta ecuación es similar a la que se utiliza para filtros percoladores.

El valor de 0.5 para el coeficiente " n " se ha establecido para filtros con medio plástico en diferentes estudios. El factor de tratabilidad de las aguas residuales K que también es relación como la constante de la tasa de reacción fué establecido por Germain (6) igual a 0.800 para el tipo de camas plásticas abiertas a la atmósfera tratando aguas negras sedimentadas. De acuerdo con Germain, los factores de tratabilidad pueden ser tan bajos como 0.01 o tan altos como 0.10 para aguas residuales industriales. Se recomienda por lo tanto determinar el valor de K en estudios de tratabilidad en plantas piloto a nivel laboratorio para desechos que no se tenga experiencia previa documentada.

La profundidad de la torre biológica afecta significativamente el

volúmen del medio requerido. Los filtros percoladores en una o más etapas con una profundidad total de 7 m. o más, puede producir una eficiente remoción de DBO a altas cargas orgánicas e hidráulicas. De acuerdo con la ecuación 1, el volúmen de empaque requerido por una torre de 7 m. de profundidad es la mitad de lo necesario para una cama de 3.5 m. de profundidad para tener una eficiencia de remoción de DBO del 80%. Las cargas hidráulicas en una torre biológica parecen no tener una influencia importante en la remoción de DBO entre los límites normales de operación de 0.68 a 3.4 lps/m².

Comúnmente se utiliza una relación de recirculación de 1, cuando se tratan aguas residuales municipales para mantener una dosificación relativamente constante del líquido. Recirculación directa del efluente de la torre durante el período de bajo flujo de aguas residuales, es necesario para mantener una carga hidráulica uniforme tanto para distribuidores rotatorios como fijos.

3. EQUIPO ELECTROMECHANICO QUE SE USAN EN LA PLANTA

Debido a que el principal equipo electromecánico con el que se dispone en la planta de tratamiento lo constituyen los motores y las bombas se hizo necesario recabar información que nos permita comprender mejor el funcionamiento de dicho equipo, así como también conocer la diversidad de modelos con que cuenta para seleccionar adecuadamente del equipo que mejor se apegue a las necesidades. En este capítulo se presenta una breve descripción de los diversos tipos de bombas, específicamente de las que se emplean en el proceso de tratamiento que se analiza, señalando sus principales características y sus posibles ventajas y desventajas en manejo de aguas residuales crudas o tratadas. En la segunda parte, se presenta en forma resumida, las principales características de interés específico de los motores de corriente alterna, como los más representativos del equipo empleado en el sistema de tratamiento.

3.1. CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE BOMBAS

3.1.1. Bombas rotatorias

Las bombas rotatorias son el tipo de desplazamiento positivo, por lo general sin válvulas, simples, compactas, de poco peso y de bajo costo inicial. Se construyen en capacidades desde una fracción de m^3/min hasta $19 m^3/min$. Aunque se emplean para presiones de $6,900 \text{ Kg}/m^2$, su campo particular de aplicación es para presiones de 170 a $3,500 \text{ Kg}/m^2$, con eficien-

cias mecánicas del 80 al 85%.

El Hydraulic Institute (7), clasifica las bombas rotatorias en los siguientes grupos de rotor simple: 1) de válvula, 2) de pistón, 3) de válvula flexible, 4) de tornillo; de rotor múltiple, 5) lobular, 6) de engrane, 7) de pistón circunferencial y 8) de tornillo.

3.1.1.1. Bomba de paletas deslizantes

Un rotor sencillo gira en una carcasa. El elemento de bombeo consta de varias paletas que se deslizan en las ranuras del rotor, el impulsor y la carcasa son excéntricos. La fuerza centrífuga o la presión mantienen el extremo exterior de las paletas en contacto con la periferia de la caja de la carcasa. Las paletas son de acero templado bronce o baquelita. Este tipo es útil para capacidades pequeñas moderadas y para baja presión. (figs. 3.1 y 3.2).

3.1.1.2. Bomba de Pistón

En este tipo el fluido entra y sale impulsado por pistones los cuales trabajan recíprocamente dentro de los cilindros; las válvulas funcionan por rotación de los pistones y cilindros con relación a los puntos de entrada y salida. Los cilindros pueden estar colocados axial o radialmente y pueden trabajar con desplazamiento constante o variable. (fig. 3.3).

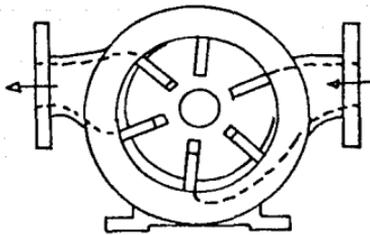


Fig. 3.1 Esquema de bomba de paletas deslizantes

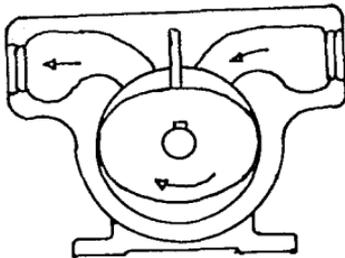


Fig. 3.2 Bomba aspas externas

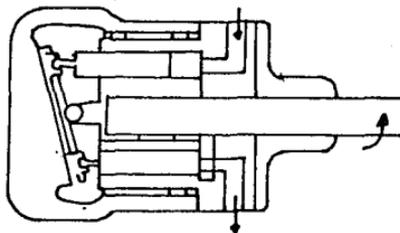


Fig. 3.3 Bomba de pistón

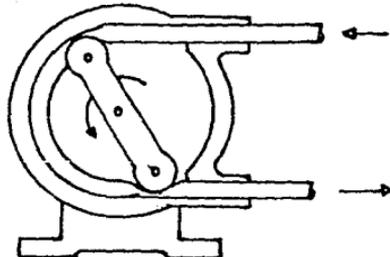


Fig. 3.4 Bomba de miembros flexibles

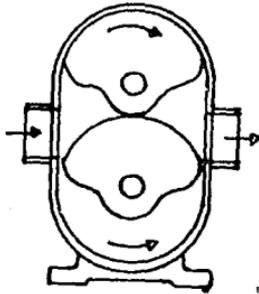


Fig. 3.5 Bomba de l6bulos

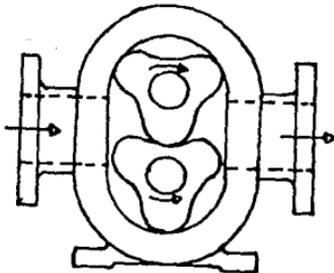


Fig. 3.6 Bomba de l6bulos

3.1.1.3. Bomba de miembros flexibles

En éstas, el bombeo del fluido y la acción de sellado dependen de la elasticidad de los miembros flexibles, que pueden ser un tubo, una corona de aspas o una camisa. (fig. 3.4).

3.1.1.4. Bomba de lóbulos

En estas bombas el líquido se desplaza atrapado en los lóbulos desde la entrada hasta la salida. Los lóbulos efectúan además la labor de sellado. Los rotores deben de girar sincronizadamente (fig. 3.5 y 3.6).

3.1.1.5. Bomba de engranes

En este tipo el líquido es conducido entre los dientes de los engranes, que sirven también como superficies de sello, en la carcasa de la bomba. Las hay de engranes externos, que pueden ser rectos, helicoidales simples o dobles como el tipo espina de pescado. Los engranes internos tienen un solo rotor que engrana con uno externo (figs. 3.7 y 3.8).

3.1.1.6. Bomba de tornillo simple

El tornillo desplaza axialmente el líquido a lo largo de una corasa en forma de gusano. Tiene el inconveniente de poseer un alto empuje axial. (fig. 3.9).

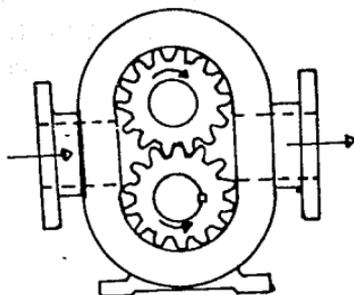


Fig. 3.7 Bomba de Engranajes

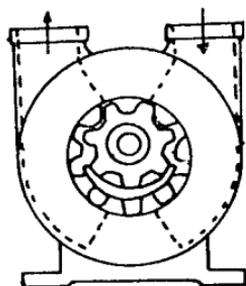


Fig. 3.8 Bomba de Engranajes

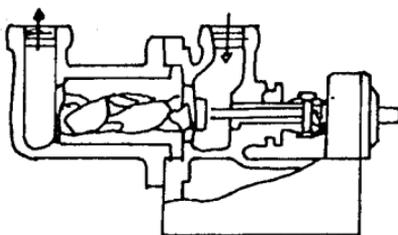


Fig. 3.9 Bomba de tornillo simple

El campo de aplicación de estas bombas es muy extenso. Se usan para manejar gran variedad de líquidos; las hay en un amplio rango de capacidades, y para distintas presiones, viscosidades y temperaturas.

3.1.1.7. Características de las bombas rotatorias (9)

Aplicaciones

- 1.- Manejo de líquidos de cualquier viscosidad
- 2.- Procesos químicos
- 3.- Manejo de alimentos
- 4.- Descargas marinas
- 5.- Bombas para descargar carros tanque
- 6.- Protección contra incendios
- 7.- Transmisiones hidráulicas de potencia
- 8.- Lubricación a presión
- 9.- Pintura
- 10.- Enfriamiento para máquinas herramientas
- 11.- Bombeo de petróleo (líneas, oleoductos)
- 12.- Bombas para quemadores de petróleo
- 13.- Refinerías
- 14.- Manejo de grasas
- 15.- Gases licuados (propano, butano, amoníaco, freón)
- 16.- Aceites calientes

Restricciones

1.- Los líquidos que contienen sustancias abrasivas o corrosivas pueden causar un desgaste prematuro en las partes con pequeñas tolerancias.

2.- Estas bombas no se deben usar en instalaciones donde pudieran quedarse girando en seco.

Ventajas

1.- Combinan las características de flujo constante de las bombas centrífugas con el efecto positivo de las bombas reciprocantes.

2.- Pueden manejar líquidos densos o delgados, así como líquidos que contengan aire o vapor.

3.- Pueden manejar líquidos altamente viscosos, lo que ninguna otra bomba puede hacer.

4.- No tienen válvulas.

3.1.1.8. Materiales

Las bombas rotatorias se fabrican con diferentes metales y aleaciones, según el servicio que van a dar. En las que manejan aceites combus-

tibles y lubricantes, la carcasa y los rotores generalmente son de hierro y las flechas de acero al carbono. Los líquidos corrosivos requieren metales especiales tales como bronce, monel, níquel y varios aceros inoxidableables o hules que tienen ciertas limitaciones. (9)

Aceros Inoxidableables

Las partes de acero inoxidable tienen gran tendencia a pegarse cuando una gira muy cerca de otra. Es necesario seleccionar aceros inoxidableables de diferente estructura y dureza para dichas partes. En general no se recomiendan bombas de acero inoxidable para líquidos de baja viscosidad.

Hules o plásticos

Las partes giratorias deben trabajar con sólo unas cuantas milésimas de claro. Muchos líquidos causan distorsiones, erosiones o agrandamientos de las piezas, lo que impide el correcto funcionamiento de la bomba.

Bronce

Para los elementos girantes, se debe tener cuidado de no seleccionar metales con coeficientes de dilatación mayores que el de la carcasa de la bomba. Por ejemplo, el bronce se expande más que el hierro y el acero. Por tanto, la combinación de dichos metales no es adecuada para

temperaturas altas.

Acero

El acero tiende a pegarse, por lo que no deberá usarse para líquidos no lubricantes (baja viscosidad).

Hierro

A altas temperaturas pueden ocurrir fracturas, al producirse un enfriamiento. Se recomienda usar acero para líquidos a temperaturas $> 232^{\circ}\text{C}$.

3.1.2. Bombas Centrifugas (8)

En una bomba centrífuga se fuerza el líquido, ya sea por medio de presión atmosférica o de otra clase, a un conjunto de paletas giratorias. Estas paletas constituyen un impulsor que descarga el líquido a una velocidad mayor en su periferia. Esta velocidad se convierte entonces en energía de presión por medio de una voluta o por medio de un conjunto de paletas difusoras estacionarias, que rodean la periferia del impulsor. Las bombas con caja de voluta se llaman, generalmente, bombas de caracol, mientras que las de paleta difusoras se llaman bombas de boquillas o difusoras. Las bombas difusoras se llaman, por lo común bombas de turbina, pero este término últimamente se ha hecho más selectivo aplicándose a bombas centrífugas verticales difusoras de pozo profundo, llamándolas

bombas verticales de turbina.

La mayoría de la gente encuentra que es difícil imaginar la trayectoria del líquido al pasar por una bomba centrífuga. El impulsor de una bomba centrífuga descarga líquido a una velocidad alta. Una función de la cubierta de la bomba es reducir esta velocidad y convertir la energía cinética en energía de presión ya sea por medio de una voluta o de un conjunto de paletas o álabes difusores.

3.1.2.1. Clasificación de las bombas por el tipo de material de sus partes.

Las designaciones del material frecuentemente usados para bombas son:

- 1.- Bomba estándar (fierro y bronce)
- 2.- Bomba toda de fierro
- 3.- Bomba toda de bronce
- 4.- Bomba de acero con partes internas de fierro o acero inoxidable.

Las bombas centrífugas pueden construirse también de otros metales y aleaciones como porcelana, vidrio, hules, etc. Las condiciones de servicio y la naturaleza del líquido manejado determinarán el tipo de material que se usará.

Para bombas de alimentación de agua potable la construcción más normal es la estándar de fierro y bronce.

Las bombas de pozo profundo usadas para alimentación de agua usan los siguientes materiales.

Tazones - Fierro

Impulsores - Bronce

Flechas de impulsor - Acero inoxidable 13% Cr.

Flechas de línea - Acero al carbono

Chumaceras - Bronce

Tuberías - Acero

Cabezal de descarga - Fierro o acero

En la tabla 3.1 se muestran en forma general las combinaciones de materiales empleados entre los diversos elementos de las bombas centrífugas, especialmente las de tipo horizontal.

En general, las condiciones de servicio que afectan principalmente la selección de materiales son las siguientes:

- a) Corrosión del líquido manejado
- b) Acción electroquímica
- c) Abrasión de los sólidos en suspensión
- d) Temperatura de bombeo

TABLA 3.1

MATERIALES USADOS EN LAS PARTES DE UNA BOMBA HORIZONTAL

Parte	Bomba Estándar	Bomba toda de Fierro	Bomba toda de Bronce	Bomba de Acero	Bomba de Acero inoxidable
Carcasa	Fierro	Fierro	Bronce	Acero	Acero inoxidable
Cabeza de Succión	Fierro	Fierro	Bronce	Acero	Acero inoxidable
Impulsor	Bronce	Fierro	Bronce	Fierro, Acero o Acero inoxidable.	Acero inoxidable
Anillos de desgaste.	Bronce	Fierro	Bronce	Acero inoxidable.	Acero inoxidable
Difusores	Fierro	Fierro	Bronce	Acero	Acero inoxidable
Flecha	Acero	Acero	Acero	Acero con alto contenido de carbono.	Acero inoxidable
Camisa de Flecha.	Latón	Acero o acero inoxidable.	Latón	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Prensa estopas y partes pequeñas.	Bronce	Fierro	Bronce	Acero o acero inoxidable	Acero inoxidable
Soportes de baleros.	Fierro	Fierro	Fierro	Fierro	Fierro

e) Carga de operación

f) Vida esperada

3.1.2.2. Clasificación de las bombas por el tipo de succión

1.- Simple succión

2.- Doble succión (ambos lados del impulsor)

3.- Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba)

4.- Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba)

5.- Succión a presión (la bomba succiona el líquido de una cámara hermética donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión).

3.1.2.3. Clasificación de las bombas por su dirección de flujo

1.- Bombas de flujo radial

2.- Bombas de flujo mixto

3.- Bombas de flujo axial

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas. El flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga (fig. 3.10).

En las bombas de flujo mixto, el flujo cambia de axial a radial. Son bombas para gastos y cargas intermedias y la velocidad específica

de los impulsores es mayor que las de flujo radial (fig. 3.11).

En las bombas de flujo axial llamadas de propela, el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica. (fig. 3.12)

La función de la carcasa en una bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

La carcasa tipo voluta, es llamada así por su forma de espiral, Su área es incrementada a lo largo de los 360° que rodean al impulsor hasta llegar a la garganta de la carcasa donde se conecta con la descarga.

La carcasa tipo difusor consiste en una serie de aspas fijas que además de hacer el cambio de energía de velocidad a presión, guían el líquido de un impulsor a otro.

3.1.3. Sistemas de bombeo de aguas residuales

Las bombas que manejan aguas residuales tanto en pequeños sistemas industriales como en los grandes de bombeo de aguas negras de las ciudades, son bombas centrífugas con impulsores de flujo mixto o de flujo axial que pueden manejar gastos elevados con presiones moderadas.



FIG. 3.10 IMPULSOR DE FLUJO RADIAL



FIG. 3.11 IMPULSOR DE FLUJO MIXTO

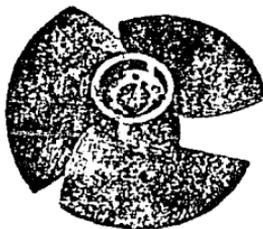


FIG. 3.12 IMPULSOR DE FLUJO AXIAL

Aquí lo más importante radica en la construcción del impulsor que debe tener pocos álabes para permitir el paso de sólidos en suspensión, palos, trapos, rocas, hules, etc.

La ventaja de este procedimiento reside en que no ocasiona altos costos de mantenimiento, aunque los costos de construcción suelen ser elevados.

Las bombas inatascables se dividen en dos tipos las de cárcamo húmedo y de cárcamo seco, según trabajen con el cuerpo sumergido o en las aguas negras.

Las bombas de "cárcamo húmedo" trabajan en condiciones de succión mejores que las de "cárcamo seco" pero su ventaja principal reside en el hecho de que se pueden instalar en estaciones de bombeo de diseño más sencillo y económico.

3.1.3.1. Bombas verticales de foso seco

Las bombas de foso seco con cojinetes exteriores incluyen la mayoría de las bombas verticales de aguas negras, pequeñas, medianas y grandes; la mayoría de las bombas medianas y grandes de drenaje e irrigación para altura de elevación mediana y alta; muchas bombas grandes de circulación a condensadores y de suministro de agua; y muchas bombas marinas. Algunas veces se prefiere el diseño vertical porque ocupan menos lugar en el piso. Otras veces es conveniente montar una bomba a una elevación

baja debido a las condiciones de succión y entonces también es preferible o necesario tener su impulsor a una elevación más alta. La bomba vertical se usa normalmente para aplicaciones de capacidad muy grandes porque es más económica que la de tipo horizontal ya considerados todos los factores.

La mayoría de estas bombas de alcantarillado tienen boquillas de succión de codo porque su abastecimiento de succión generalmente se toma de un pozo lleno adyacente al foso en el que está instalada la bomba. Aunque los motores impulsores están montados, frecuentemente arriba de la cubierta de la bomba, una razón importante para el uso del diseño de la flecha es la posibilidad de localizar los motores a una elevación suficiente arriba de las bombas para evitar su inundación accidental.

(8)

3.1.3.2. Bombas verticales de foso lleno

Las bombas verticales dedicadas a la operación sumergida se fabrican en un gran número de diseños dependiendo principalmente del servicio para el que se destinan. Por lo tanto las bombas centrífugas de foso lleno se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1.- Bombas verticales de turbina
- 2.- Bombas de hélice o hélice modificada
- 3.- Bombas para aguas negras
- 4.- Bombas de voluta

5.- Bombas de colector

3.1.3.3. Bombas verticales de turbina

Las bombas verticales de turbina se desarrollaron originalmente para bombear agua de pozos y se les llama bombas de pozo profundo.

Los campos de mayor aplicación para la bomba vertical de turbina son los bombeos de pozos para irrigación y otros propósitos agrícolas, para abastecimiento municipal y abastecimiento industriales de agua, proceso, circulación, refrigeración y acondicionamiento de aire. Estas bombas se han hecho para capacidades tan bajas como 38 a 52 l/min y tan altas como 94,625 l/min o más, y para alturas de elevación hasta de 305 m.

3.1.3.4. Bombas de hélice

Originalmente el término "bomba vertical de hélice" se aplicó a bombas verticales de difusor de pozo lleno o de turbina con una hélice o impulsores de flujo axial generalmente, para instalarse en un colector abierto con una colocación relativamente breve. Las cabezas de operación que exceden la capacidad de un impulsor de un solo paso o una bomba de un solo paso con una velocidad específica más baja y un impulsor de flujo mixto. Las alturas de elevación bastante altas requerirán una bomba con impulsores de flujo mixto y dos o más etapas.

Aunque las bombas verticales de turbina y las bombas verticales de hélice modificadas son básicamente iguales desde el punto de vista, mecánico, y aún podrían ser de la misma velocidad específica hidráulicamente, un diseño básico de bomba de turbina es el apropiado para un gran número de pasos, mientras que una bomba de hélice modificada es un diseño mecánico básicamente para un máximo de dos a tres pasos.

La mayoría de las instalaciones de drenaje de foso lleno, de irrigación de poca altura de elevación, y de agua de tormentas, emplean bombas convencionales de hélice o de hélice modificada. Estas bombas también se han usado para servicio de circulación de condensado, pero un diseño especializado domina este campo. (8)

3.1.3.5. Bombas de aguas negras

Exceptuando algunas bombas grandes verticales que manejan residuos líquidos diluidos (básicamente agua de lluvia contaminada con aguas negras domésticas), las bombas verticales para aguas negras de foso lleno, tienen un diseño de voluta de admisión de fondo con impulsores capaces de manejar materiales sólidos y fibrosos con un atascamiento mínimo.

3.1.3.6. Bombas de voluta

Además de las bombas de aguas negras de foso lleno más comunes, algunos diseños de admisión sencilla con succión, ya sea en el fondo o por la parte superior y los diseños de doble succión que están soporta-

das en el piso del pozo, se usan algunas veces en este servicio. Excepto en algunas instalaciones de diques secos flotantes, esas bombas tienen pocas aplicaciones en la actualidad.

3.1.3.7. Bombas de colector

El término "bomba de colector" ordinariamente da la idea de una bomba vertical de foso lleno que está suspendida de una placa del piso o de una tapa del colector o soportada por una pata en el fondo de un pozo; que está movida por un motor y controlada automáticamente por un interruptor flotador, y que se usa para disponer de drenajes acumulados en un colector. (8)

Las bombas de colector de mayor capacidad pueden ser verticales de hélice o de turbina (de uno o de varios pasos), o de aguas negras verticales de foso lleno de voluta. Si pudiesen arrastrarse al foso materiales sólidos u otros desperdicios, se prefiere la bomba vertical de foso lleno para aguas negras con un impulsor inatascable.

3.1.3.8. Aplicación de las bombas verticales de foso lleno

Como todas las bombas, las verticales de foso lleno tienen ventajas y desventajas, las primeras en su mayor parte hidráulica y las últimas principalmente mecánicas. Si el impulsor (el del primer paso en bombas de varias etapas) está sumergido, no hay problema de cebado. La única ventaja mecánica es que el motor o impulsor se puede colocar a

cualquier altura que se desee arriba de cualquier nivel de inundación. Las desventajas mecánicas son las siguientes: (1) Posibilidad de pegarse cuando esta inactiva (2) Posibilidad de dañarse con objetos flotantes, si la unidad está instalada en una zanja abierta o instalación similar, (3) inconveniente de sacarla y desmantelarla para inspección y reparaciones, no importa que tan pequeñas y (4) la vida relativamente corta de los cojinetes sea igual.

La bomba vertical de foso lleno es la mejor bomba disponible para algunas aplicaciones, no la ideal pero la más económica para otras instalaciones, una mala selección para otras.

3.1.3.9 Curvas Características de las bombas.

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo, una bomba centrífuga que opera a velocidad constante puede descargar cualquier capacidad desde cero a un valor máximo que depende del tamaño de la bomba, diseño y condiciones de succión. La carga total generada por la bomba, la fuerza requerida para moverla y la eficiencia resultante varían con la capacidad. Las interrelaciones de capacidad, carga, fuerza y eficiencia, se denominan características de la bomba.

La curva H-Q en la fig. 3.13 que muestra la relación entre la capacidad y la carga total, se llama curva de carga-capacidad. Con frecuencia se clasifican las bombas basándose en la forma de sus curvas de carga capacidad.

La curva P-Q en la fig. 3.13, muestra la relación entre la toma de fuerza y la capacidad de la bomba, es la curva de fuerza- capacidad; pero generalmente se refiere uno a ella como la curva de fuerza o la curva de potencia al freno.

La curva N-Q en la fig. 3.13, que muestra la relación entre la eficiencia y la capacidad, se llama curva de eficiencia-capacidad.

3.2. MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA Y MOTOR SINCRONO

3.2.1. Motores de corriente alterna

3.2.1.1. Clasificación de los motores de corriente alterna (10)

El motor de corriente alterna también se conoce como motor de inducción o motor asíncrono.

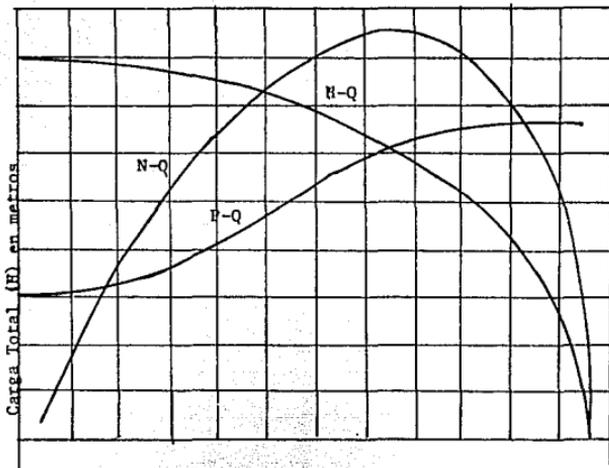
El motor de inducción se clasifica en:

Motor de inducción con rotor jaula de ardilla

Motor de inducción con rotor devanado

Motor de inducción con rotor doble jaula de ardilla

Clasificación de los motores de inducción jaula de ardilla



Capacidad Q en 100 L/min

Fig. 3.13 Gráficas N-Q, N-Q y P-Q

BHP (P), eficiencia (N) por ciento

- 1.- De acuerdo a su tamaño
 - Motor fraccionario
 - Motor integral

- 2.- De acuerdo a su diseño eléctrico,
 - Uso:
 - Motor de uso general
 - Motor para aplicación definida
 - Motor para aplicación especial

- 3.- De acuerdo a su tipo de arranque
 - Motor de fase dividida
 - Motor de arranque por resistencia
 - Motor por condensador en sus tres tipos
 - Motor de arranque por condensador
 - Motor con condensador permanente conectado
 - Motor con condensador de doble valor

- 4.- De acuerdo a su protección mecánica y sistema de enfriamiento
 - Motor abierto
 - Motor a prueba de salpicaduras
 - Motor a prueba de goteo
 - Motor con guarnición
 - Motor totalmente cerrado
 - Motor a prueba de explosión
 - Motor a prueba de polvo e ignición

Motor a prueba de agua

3.2.1.2. Características de los motores de inducción

Motor de inducción con rotor jaula de ardilla

Este tipo de motor es el más sencillo en su construcción, respecto a los demás motores de inducción, el más utilizado, de más bajo costo y de mantenimiento mínimo.

Su par de arranque es bajo. En el arranque éste tipo de motor absorbe una corriente más grande que la corriente nominal con bajo factor de potencia, a pesar de ello, desarrolla un par pequeño. La resistencia de su rotor es baja. Su velocidad no es regulable.

En este motor solamente una parte, el rotor o el estator, se conectan a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética. El rotor está integrado por barras colocadas en ranuras del núcleo secundario permanentemente cerradas en corto circuito por medio de anillos en sus extremos, dando la apariencia de una jaula.

1. Motores de acuerdo a su tamaño

Motor fraccionario, es un motor cuya potencia es menor de 1 C.P. (caballo de potencia) continuo a plena carga, pero mayor de 1/20 C.P.

Motor integral, es un motor cuya potencia es igual o mayor de 1 C.P. continuo a plena carga.

2. Motores de acuerdo a su diseño eléctrico

Diseño "A". Motor trifásico que soporta la tensión plena nominal durante el arranque y que desarrolla un par bloqueado normal especificado y un par máximo normal, con una corriente a rotor bloqueado alta, teniendo un deslizamiento a plena carga menor de 5%.

Diseño "B". Motor trifásico que soporta la tensión plena nominal durante el arranque y que desarrolla un par a rotor bloqueado especificado y un par máximo normal, con una corriente a rotor bloqueado normal, teniendo un deslizamiento a plena carga menor del 5%.

Diseño "C". Motor trifásico que soporta la tensión plena nominal durante el arranque y desarrolla un par a rotor bloqueado especial para aplicaciones de alto par de arranque. Su deslizamiento es menor del 5%.

Diseño "D". Motor trifásico que soporta la tensión plena nominal durante el arranque y desarrolla un alto par a rotor bloqueado no menor del 275% del par a plena carga con una corriente a rotor bloqueado normal y con un deslizamiento a plena carga alto (de 5% o más).

Motor de inducción con rotor devanado

En este tipo de motor, como su nombre lo indica, tiene su rotor devanado y al conectarse una resistencia al rotor el deslizamiento aumentará para un valor dado del par. Cuando se aumenta la resistencia del rotor, éste gira a velocidad reducida, pero esta reducción se obtiene a expensas de la eficiencia, porque se han aumentado las pérdidas (I^2R) en el rotor.

Es evidente que la regulación de la velocidad en éste tipo de motor, se puede conseguir intercalando resistencias en el circuito del rotor.

El motor con rotor devanado resulta más caro que el motor jaula de ardilla, ya que es mayor el costo del devanado y de la conexión de las bobinas de rotor.

Este tipo de motor tiene mejor par de arranque, que el de jaula de ardilla. Se emplea cuando se requiere un fuerte par de arranque y cuando se necesita regular la velocidad.

Motor de inducción con rotor doble jaula de ardilla

Se han realizado esfuerzos para combinar las características de los dos tipos de motores de jaula de ardilla y de rotor devanado en un tipo único, siendo este el motor de inducción con rotor doble jaula de ardilla.

Este motor tiene dos arrollamientos, o jaulas de ardilla, en el rotor; una jaula de ardilla de elevada resistencia instalada en lo alto de las ranuras, y otra jaula de ardilla de baja resistencia instalada en el fondo de la misma; pudiéndose conseguir un gran par de arranque y una buena característica de marcha con este tipo de rotor.

3.2.2. Motor Síncrono

Este motor es una variante del motor de inducción, porque funciona con corriente alterna aplicada al estator (parte fija del motor), y con corriente continua aplicada al campo de rotor (parte móvil del motor).

El motor síncrono, es una máquina con rotor de polos salientes, que se utiliza para velocidades bajas, y con rotor de polos lisos (rotor cilíndrico) para altas velocidades. Es una máquina reversible, es decir, se puede trabajar también como alternador. (9)

Las ventajas de un motor síncrono son las siguientes:

Funciona a velocidad constante.

Trabaja un factor de potencia determinado.

Su deslizamiento es igual a cero, es decir, que la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad del rotor.

Las desventajas del motor síncrono son las siguientes:

No tiene par de arranque.

Es necesaria una fuente de alimentación de corriente continua para alimentar el campo del rotor.

Tiene mayor costo.

Las formas de arranque de un motor síncrono son:

Por medio de un motor auxiliar.

Por el principio de funcionamiento del motor de inducción

3.2.3. Características de operación del motor

Los parámetros principales que definen las características de operación de un motor son:

Velocidad (a plena carga) r.p.m.

Capacidad (potencia) en C.P. ó en KW

Par en Kg-m

Corriente de arranque o máxima

Incremento de temperatura ($^{\circ}$ C) o clase de aislamiento

En la práctica, se debe lograr que la velocidad, la capacidad y las características de par del motor sean adecuadas a las necesidades de la carga y después comprobar si el motor funcionará debajo de los límites de corriente y de temperatura.

Par de arranque (par a rotor bloqueado).

Es el par mínimo que desarrolla el motor en reposo (con el rotor frenado a velocidad cero) para cualquier posición angular del rotor, en el instante en que se le aplica un voltaje y frecuencia nominales a sus devanados.

Par mínimo

Este es el valor mínimo de par que puede desarrollar un motor durante el período de aceleración, comprendido desde el reposo hasta la velocidad en que ocurre el par máximo.

Par máximo (par de desenganche).

Es el mayor par que puede desarrollar un motor bajo frecuencia y tensión nominales sin frenarse o sentarse súbitamente, generalmente se presenta cuando el motor ha alcanzado el 80% de su velocidad sincrónica (o de vacío).

Par a plena carga.

Es el par que desarrolla el motor para obtener la potencia nominal o de placa a la velocidad especificada en la placa.

Potencia.

La selección de la potencia correcta del motor es de suma importancia, debido a que un motor trabajando a plena carga mejora su factor de potencia y su eficiencia.

En muchos casos se seleccionan motores de capacidad mayor que la requerida, lo cual va en contra de la economía del usuario, ya que consume más energía eléctrica debido a que las pérdidas aumentan en el motor, y por otra parte puede estar pagando multas por bajo factor de potencia.

Montaje.

Con respecto al tipo de montaje haremos hincapié en lo siguiente:

Un motor horizontal puede trabajar generalmente en posición vertical, siempre y cuando no tenga carga axial, en otras palabras que su flecha no lleve algún peso adicional al del propio rotor.

En caso de que sea necesario que el motor tenga que llevar una carga axial, es necesario requerir un motor vertical con empuje axial normal o con alto empuje axial, dependiendo del tipo de carga.

Protección mecánica

A prueba de goteo o abierto. Es un motor que tiene aberturas de ventilación en tal forma que, gotas de un líquido o partículas sólidas que caigan sobre el motor en un ángulo no mayor de 15 grados con respecto a la vertical, no puede penetrar al interior del motor, ya sea directamente o pegando en él y resbalando hacia adentro.

Totalmente cerrados. Es aquel cuya armazón impide el cambio libre de aire entre el interior y el exterior del motor, con objeto de que algunos gases destructivos, vapores, polvos, emanaciones perjudiciales, puedan penetrar el interior del motor.

A prueba de explosión. Motor totalmente cerrado cuya armazón está diseñada y construída para soportar una explosión de gas o vapor especificado que pueda ocurrir dentro de dicha armazón por diversas causas y para prevenir la ignición de gas o vapor que rodea al motor.

Aunque existen algunos otros tipos de protecciones mecánicas las más usuales son las descritas anteriormente.

En la actualidad hay tendencias a usar más el motor totalmente cerrado en lugar del abierto a prueba de goteo, pero no hay que perder de vista que el motor a prueba de goteo tiene factor de servicio más alto que el motor totalmente cerrado, lo cual significa que puede trabajar sobrecargado.

Velocidad

La selección de velocidad de un motor es un punto muy importante. Las velocidades más usuales son: 1500/1800 RPM (4 polos en 50/60 cps) y 3000/3600 (2 polos en 50/60 cps). Son menos usuales que las anteriores: 1000/1200 RPM (6 polos en 50/60 cps) y 750/900 RPM (8 polos en 50/60 cps).

Para seleccionar la velocidad es conveniente analizar entre otros, el factor económico.

Voltaje

Los motores trifásicos generalmente están contruidos para operar en dos tensiones o voltajes de alimentación: 220/440 volts; sin embargo, hay algunos motores que no son recomendables y operan únicamente con 220 volts o con 440 volts; estos tipos de motores son los de dos velocidades, devanado dividido y devanado estrella delta.

Hay algunos voltajes de alimentación diferentes, tales como: 380 volts, 550 volts o voltajes medios (2400 volts y 4160 volts); estos voltajes son menos usuales que los anteriores.

Corriente

La corriente a plena carga en amperes, viene expresada en la placa

de características y sirve de base para seleccionar los elementos térmicos del arrancador. Hay que tomar en cuenta el factor de servicios, para esta selección.

Frecuencia

Un motor diseñado para 50 cps(ciclos por segundo) puede trabajar en 60 cps, disminuyendo su par y aumentando su velocidad. Un motor diseñado para 60 cps, no puede trabajar en 50 cps porque aumenta su corriente y se quema.

Armazón

En algunas ocasiones pasa uno por alto el tamaño del motor que se va a seleccionar y cuando lo recibimos, nos damos cuenta de que no cabe en el lugar en que lo vamos a instalar; es por eso necesario tener en cuenta el tamaño o armazón del motor que vamos a adquirir.

4. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD UNIVERSITARIA

A continuación se hace una descripción detallada de la ubicación y distribución de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, poniendo especial atención en la identificación de equipos electromecánicos, bases del presente estudio, asimismo se hace una descripción de los diferentes procesos de tratamientos que se llevan a cabo en la planta.

Cabe recalcar que la mayor parte de este capítulo se basa en las experiencias de operación y mantenimiento de la planta recabada en varios estudios realizados por investigadores del Instituto de Ingeniería, a quienes se agradece su especial apoyo para la realización del presente estudio. Asimismo, dado que en la planta se están tratando de remediar los problemas de operación continuamente, es posible que se originen cambios y modificaciones que no se consideren en el presente trabajo.

En la primera parte del capítulo se presentan cada una de las unidades con su respectiva descripción, para que al final se dedique una sección especial a la descripción de los equipos electromecánicos de mayor interés, utilizados en los diversos procesos de tratamiento. (11)

4.1. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1.1. Necesidad de construcción

La necesidad de reutilizar las aguas residuales derivadas de diversas fuentes de Ciudad Universitaria, hicieron posible la construcción de una planta de tratamiento con la finalidad de proporcionar aguas tratadas para el riego de las zonas verdes.

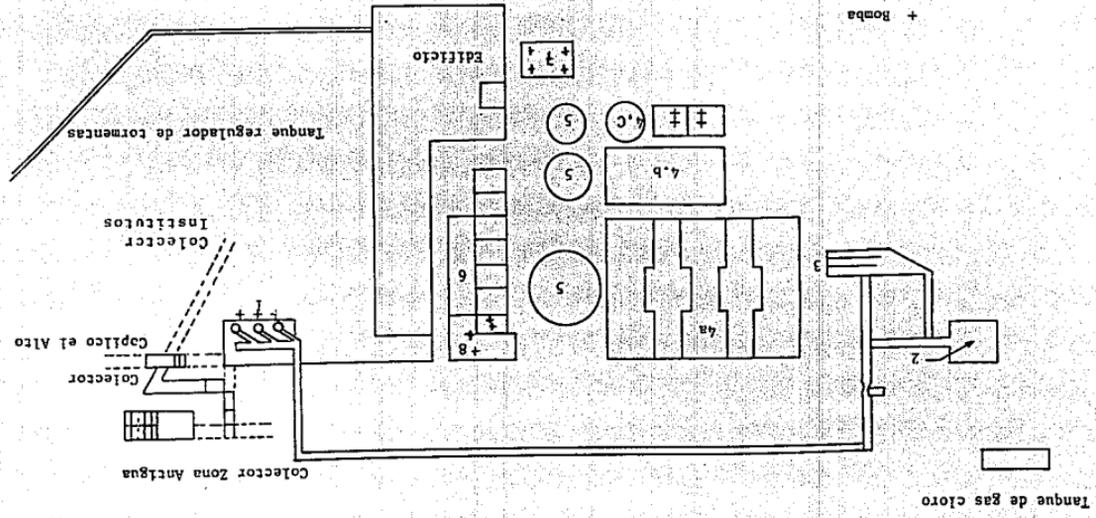
Esta planta de tratamiento comenzó a operar en septiembre de 1982 con un flujo de agua formado por una mezcla de las aguas residuales derivadas de Ciudad Universitaria con las aguas residuales de la colonia Copilco El Alto. En la figura 4.1. se muestra la distribución de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria.

Este tratamiento de aguas residuales es un proceso que se hace con la finalidad de conservación del medio ambiente y como medida de seguridad de la salud de toda la población que de alguna manera está involucrada con la gran zona que comprende Ciudad Universitaria.

4.1.2. Componentes del Proceso.

Los componentes del proceso son los siguientes, considerando además, que la planta cuenta con otro tipo de instalaciones como: cubículos, laboratorios, taller, cafetería, sala de juntas, biblioteca, etc.

Figura 4.1 Esquema general de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria.



1. Sistema de bombeo de aguas negras crudas
2. Desarenador
3. Sistemas de medición de gasto
4. Reactores biológicos (colocados en paralelo)
 - a. Lodos activados
 - b. Biodisco
 - c. Filtro percolador
5. Sedimentadores secundarios
6. Filtros de arena
7. Cárcamo de cloración y de aguas tratadas
8. Cárcamo de lavado y pluviales

En la figura 4.1. se muestran los componentes anteriormente enumerados.

4.2. CAPTACION DE AGUAS RESIDUALES

La planta fue originalmente diseñada para tratar el efluente de las diversas zonas de Ciudad Universitaria con un gasto de 40 lt/seg (3456m³/día), pero actualmente trata un 60% de la capacidad de diseño y a la fecha no se ha podido aún operar con el gasto de diseño original.

La planta de tratamiento se localiza en la parte más baja de Ciudad Universitaria, ocupando parte del tanque regulador de tormentas que antiguamente estaba situado en ésta zona. La llegada del agua a la planta

se realiza a través de tres colectores localizados dentro de lo que resta del tanque regulador de tormentas. Los colectores que introducen el agua a la planta son de los siguientes diámetros:

0.91 m en el colector Humanidades o Zona Antigua

0.91 m en el colector Institutos

0.91 m en el colector Copilco el Alto

Los dos primeros conducen parte del agua de desecho de la UNAM y el tercero agua residual de origen doméstico. En cada colector existe una compuerta tipo Miller de 0.6 x 0.6 m, las cuales ayudan a regular el gasto de entrada a la planta. La elevación de los canales es diferente en los tres casos, lo que conduce a una diferente aportación de cada uno de ellos, siendo el agua contenida en el colector Copilco el Alto la que entra preferencialmente. En la Figura 4.2 se muestran los niveles de los tres colectores,

La limpieza de los colectores se realiza en forma manual cuando se observa una cantidad considerable de partículas de diversos tamaños que empiecen a obstruir los conductos que lleven hasta los diversos dispositivos que se usan en la planta.

En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de flujo del tratamiento del agua residual.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

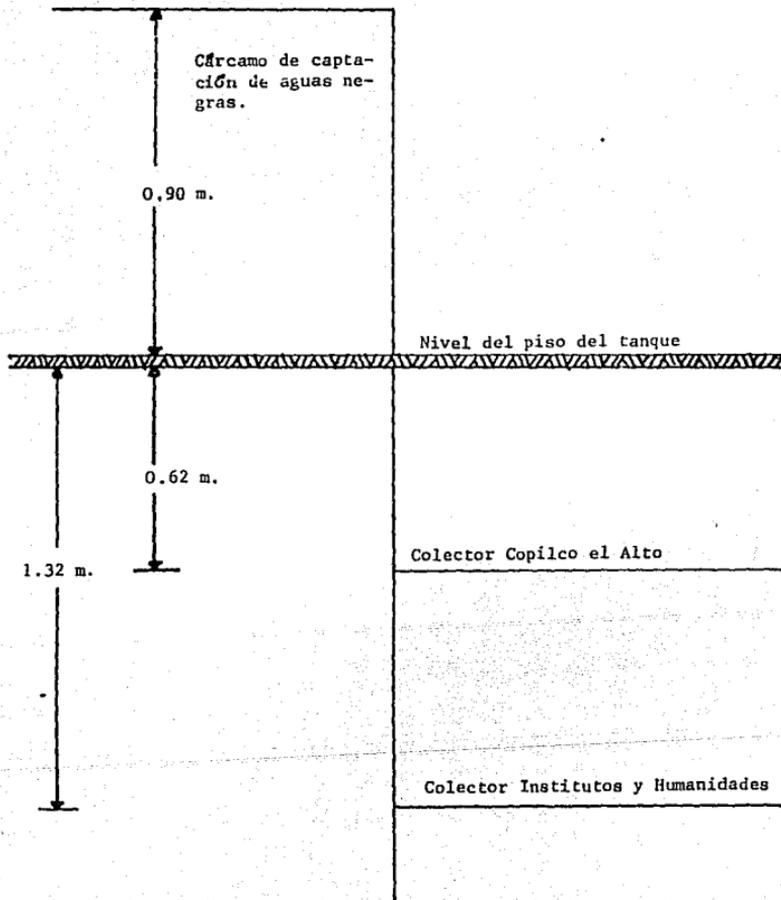


Fig. 4.2 Niveles de entrada de los Colectores.

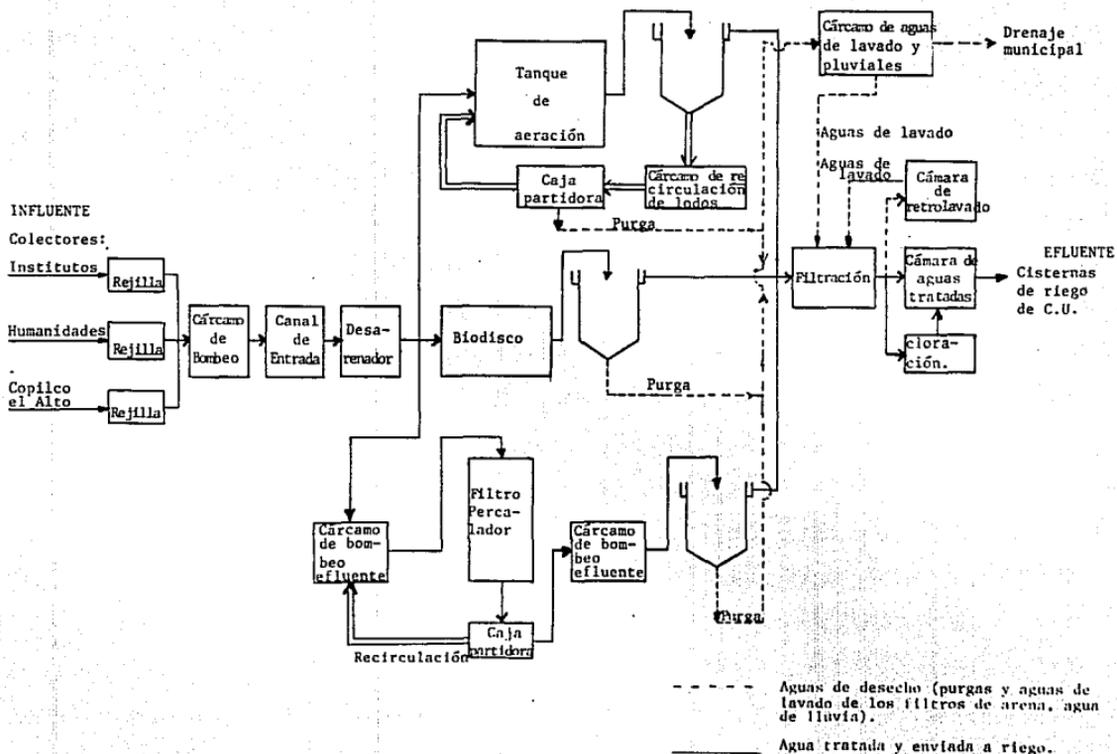


Figura 4.3 Diagrama de flujo del tratamiento de agua residual.

4.2.1. Rejillas

En la planta de Ciudad Universitaria existen tres rejillas de acero situadas en cada uno de los colectores. El espesor de las barras es de 4 mm. El ángulo que forman las rejillas con la vertical es de 30° en los colectores de Copilco el Alto e Institutos y de 12° en el de Humanidades. La separación entre las barras es de 2.5 cm. Su limpieza se realiza en forma manual y con la ayuda de cepillos, la basura así recolectada es nuevamente tirada al drenaje general.

Las rejillas son de limpieza manual debido a que los gastos de los colectores en su totalidad no superan los $3800 \text{ m}^3/\text{día}$, lo que no hace rentable otro tipo de rejillas, para un diferente tipo de recolección de sólidos orgánicos grandes. El gasto de diseño es $3456 \text{ m}^3/\text{día}$.

Estas rejillas por su separación y por su tamaño solo eliminan las partículas que flotan, siendo esta basura la que es arrojada al drenaje por los usuarios, entrando grandes cantidades de partículas de menor tamaño al cárcamo de captación.

4.2.2. Cárcamo de captación.

El cárcamo de captación de la planta es del tipo húmedo y se encuentra parcialmente bajo el nivel del piso del tanque regulador de tormentas. Esta construido de concreto armado y tiene las siguientes dimensiones (sin considerar el espesor de las paredes): 3.11 m de ancho, 4.99 m de

largo y 4 m de profundidad. El tirante del agua dentro del cárcamo varía a lo largo del día, pero se puede considerar que contiene un volumen promedio de agua de 34 m^3 , teniendo un tiempo de retención hidráulica de 14 min. para $Q = 40 \text{ lt/seg.}$

Este cárcamo está compuesto de una sola cámara donde se encuentran tanto el sistema de bombeo como el agua residual lo que dificulta el mantenimiento y reparación de las bombas. Aunado a esto existe el problema de la gran cantidad de arenillas que se sedimentan en el fondo del cárcamo, evitando el funcionamiento correcto de las bombas que sufren daños (principalmente del impulsor), en la operación.

El volumen mínimo de agua que debe contener el cárcamo esta dado por la ecuación:

$$V_c = \frac{\theta q}{4}$$

donde:

- V_c - volumen de bombeo mínimo (L^3)
- θ - tiempo mínimo de bombeo (T)
- q - gasto ($\text{L}^3 \text{ T}^{-1}$).

El cárcamo cumple con las especificaciones de diseño en lo que respecta al volumen mínimo (9 m^3 para $\theta = 15 \text{ min}$) y tiempo máximo de retención (0.5 hrs).

Como no hay medios para la eliminación de natas de las aguas residuales antes de entrar el cárcamo, estas se acumulan provocando condiciones sépticas, propiciando también el paso de grasas al sistema de tratamiento generando problemas de sedimentación.

En la figura 4.4. se muestra el esquema del cárcamo de captación de aguas negras.

4.2.3. Tubería de Alimentación

La tubería de acero que une el cárcamo de captación con el canal de entrada al desarenador es de 6" de diámetro y 92 m de largo.

En la siguiente tabla se presentan los valores de la velocidad de paso calculadas por ésta tubería y las pérdidas por fricción considerando coeficientes de rugosidad (k) para tubería nueva y usada.

Gasto Q m ³ /seg.	Velocidad V m / seg.	Pérdidas por fricción, en m	
		Tubería nueva K=0.1mm	Tubería usada K=0.2mm
0.020	1.10	0.80	1.59
0.022	1.21	0.96	1.92
0.030	1.64	1.66	3.52
0.040	2.19	2.96	6.29
0.060	3.29	7.29	16.06

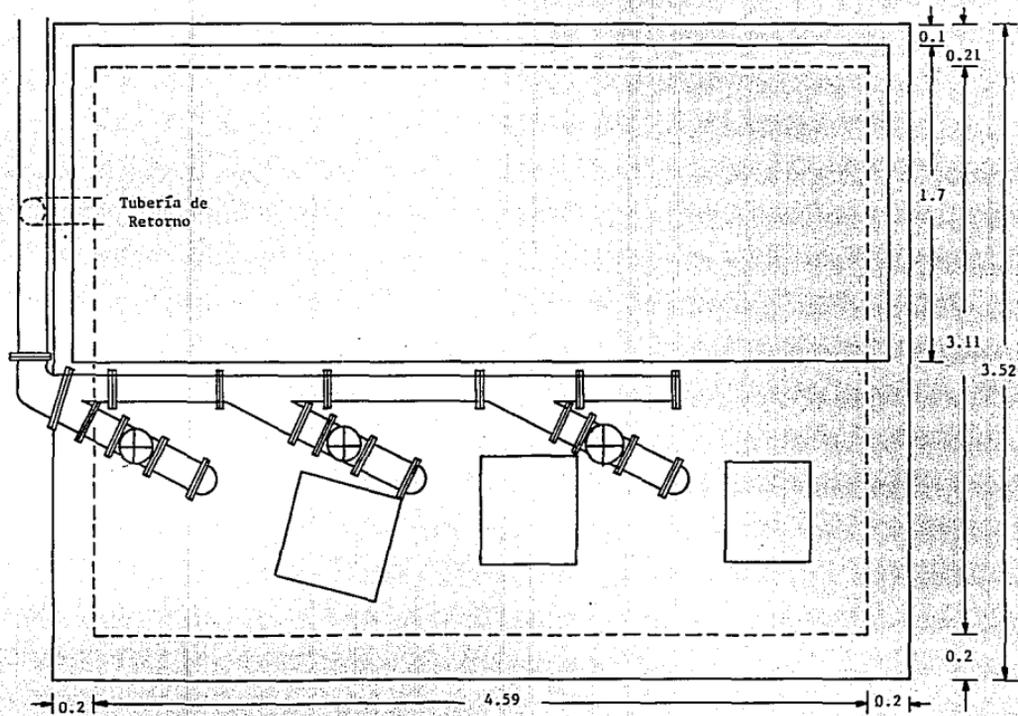


Figura 4.4 Cárcamo de Captación de las aguas negras

Acot: m

La selección del diámetro de ésta tubería está hecha con base en la velocidad de paso del agua residual a través de la longitud de la tubería a fin de evitar la deposición de sólidos.

En este tipo de plantas, que son medianas y chicas, se recomienda que la velocidad de las aguas residuales en la tubería se mantenga entre 1.1 y 1.5 m/seg. Aunque los sólidos no sedimentan a velocidades tan bajas como 0.6 m/seg, es necesario mantener una velocidad mínima de 1.1 m/seg, en la tubería para arrastrar los sólidos depositados durante los paros de las bombas.

4.3. PRETRATAMIENTO.

4.3.1. Desarenador

El desarenador de la planta es de tipo cuadrado: 3.04 m de largo por 3.05 m. de ancho. Los sedimentos son transportados al sistema de extracción con ayuda de rastras (velocidad de giro 1.5 rpm. motor de 0.5 HP). El sistema de extracción consiste de un tornillo sin-fín acoplado a una tolva y de una caja de recolección. En los dos extremos del desarenador se encuentran; del lado de la entrada, 8 deflectores y del lado de la salida, una serie de vertedores triangulares.

Este desarenador es una variante del desarenador de flujo horizontal. Estos desarenadores están diseñados considerando el gasto máximo, el tamaño de las partículas a eliminar y la temperatura del agua residual.

En este desarenador existe un sistema de rastras que conducen los depósitos a una cámara de colección donde son recogidos por un tornillo sin-fín y transportados a una caja de escurrimiento. De acuerdo con la figura 4.5 la superficie requerida a 15°C para la eliminación de las partículas de 0.15 mm. de diámetro (malla 100) es de $1.7 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{día}$, para el gasto de diseño $Q = 40 \text{ lt/seg}$; lo anterior implica una superficie cuadrada de 2.42 metros de arista, por lo que la superficie de desarenación de la planta es suficiente.

Actualmente se han tenido problemas en la operación del desarenador por lo cual éste equipo se encuentra sin funcionamiento.

En la figura 4.6 se muestra la vista del desarenador, tipo cuadrado y sus componentes principales.

4.3.2. Medidores Parshall.

El canal Parshall es una especie de tubo Venturi abierto en el cual la garganta (contracción) produce una elevación de nivel en función del caudal. Esta formado por una sección de entrada de paredes verticales convergentes y fondo a nivel, una garganta o estrechamiento de paredes paralelas y fondo descendente y una sección de salida con paredes divergentes y fondo ascendente.

El primer canal Parshall se encuentra colocado en la entrada del desarenador y que es la salida de la tubería de alimentación. Este canal

SUPERFICIE DE
SEDIMENTACION
REQUERIDA.
 $m^2 / m^3 / dia$

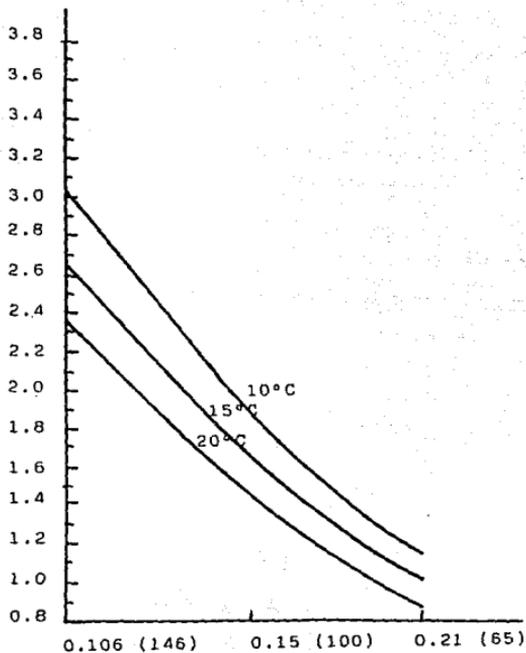


FIG. 4.5 SUPERFICIE DE DESARENACION REQUERIDA
PARA ARENAS DE DENSIDAD DE 2.65

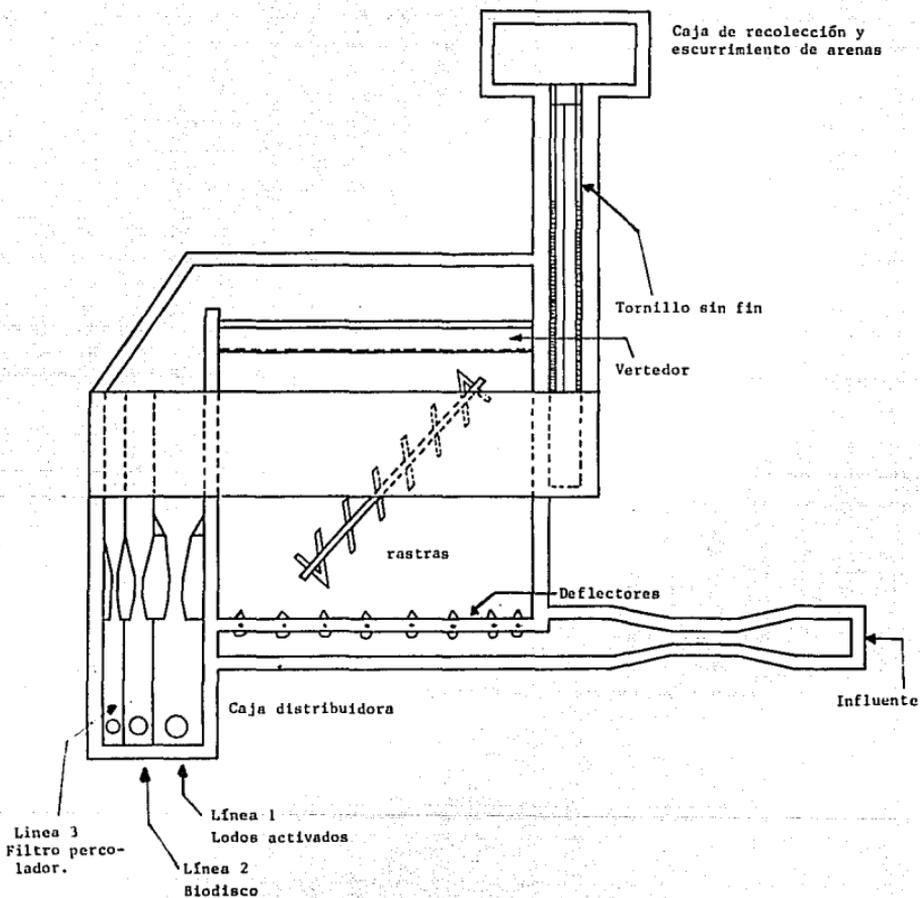


Figura 4.6 Vista del canal de entrada, del desarenador tipo cuadrado y de los canales Parshall.

tiene las medidas que se dan en la figura: 4.7. Cabe observar que por su posición con respecto al punto de descarga de la tubería a presión, no se logra establecer régimen hidráulico estable por lo que no es posible utilizar este dispositivo para medir gasto.

Después del desarenador y comunicado por medio de un canal estabilizador de flujo se encuentran tres medidores Parshall, que cumplen con las especificaciones de diseño. Estos medidores tienen un ancho de garganta de 3 pulgadas y están colocados en paralelo los cuales distribuyen el agua residual que se va hacia los tres sistemas de tratamiento que existan en la planta, como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9

Caja Distribuidora

La caja distribuidora es de 1.55 m. de largo por 1.20 m. de ancho y se encuentra subdividida en tres canales correspondientes a cada uno de los procesos.

Las tuberías que conducen el agua por gravedad a los sistemas de tratamiento tienen los siguientes diámetros:

- 8" para lodos activados.
- 6" para el filtro percolador.
- 6" para el biodisco.

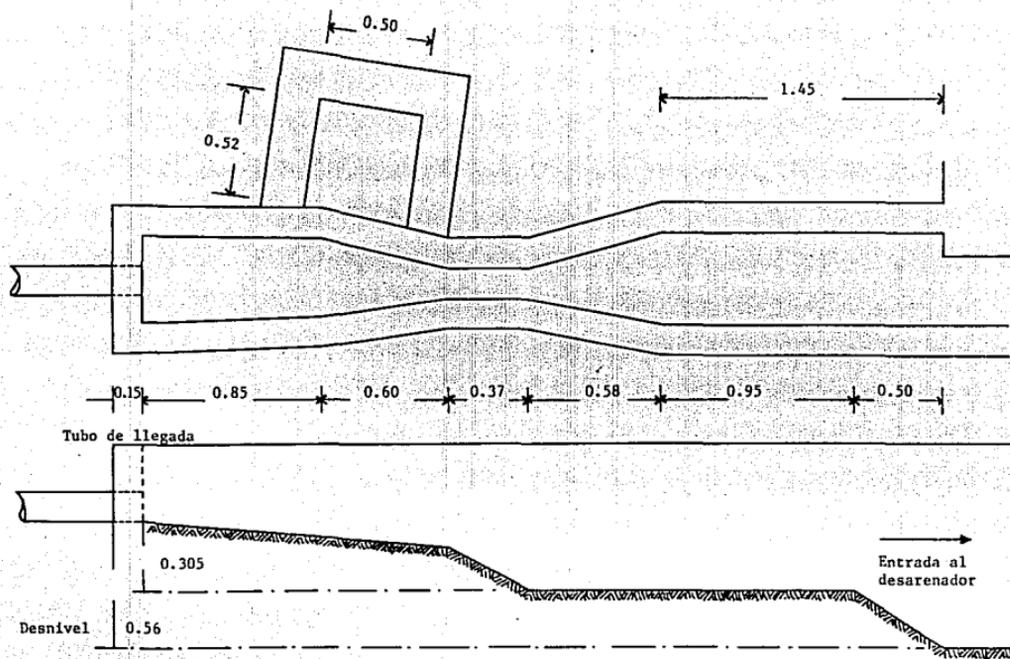
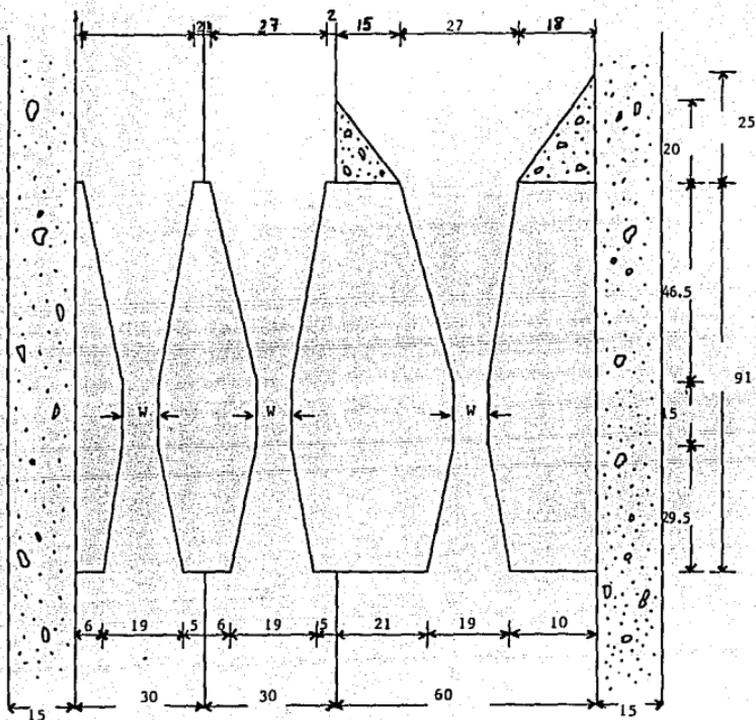


Figura 4.7 Esquema del "Parshall" de entrada.



W - Garganta = 3" (7.62 cm)

Anotaciones en centímetros

Figura 4.8 Canales Parshall. Detalle

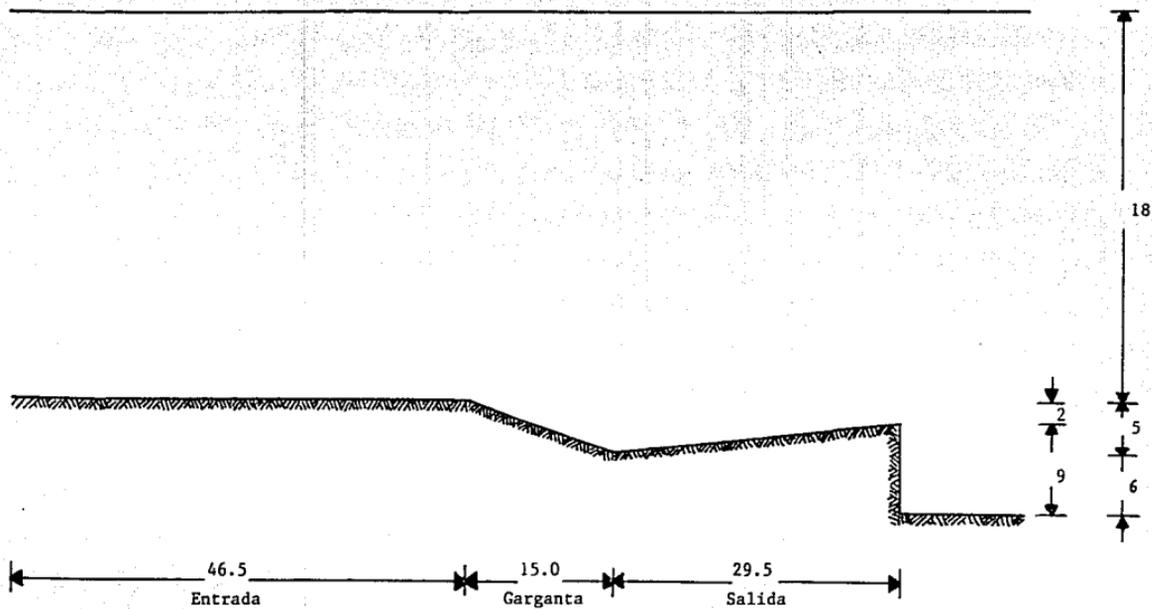


Figura 4.9 Perfil de los medidores Parshall.

4.4. SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

El sistema de lodos activados de la planta de tratamiento de C.U. es del tipo completamente mezclado y con aereación mecánica. Fué diseñado para tratar 20 lt./seg. y consta de las siguientes partes: tanque de aereación, sedimentador secundario, cárcamo de recirculación de lodos y caja partidora.

El sistema de tratamiento biológico se clasifica dentro de los procesos aerobios con biomasa suspendida. El principio de funcionamiento es el siguiente: Se introduce el agua residual dentro de un reactor con agitación (tanque de aereación) donde se encuentra un cultivo de microorganismos aerobios y aerobio facultativos. A la mezcla de agua residual con la biomasa se le denomina licor mezclado. Después de un cierto tiempo el licor mezclado pasa a un sedimentador donde se separa el agua tratada de la biomasa (lodos secundarios). Una parte de los lodos de los sedimentadores es recirculada al tanque de aereación y otra es desechada (purga). El rendimiento obtenido depende tanto de la rapidez del metabolismo de los microorganismos (transformación de la materia orgánica contenida en el agua en protoplasma celular) como de la sedimentabilidad de los lodos producidos.

El proceso de lodos activados es muy flexible y existen muchas variantes en este proceso siendo una especial el que se encuentra en la planta de tratamiento de C.U., ya que no se cuenta con sedimentación primaria debido principalmente a que las aguas residuales a tratar contienen una

muy reducida concentración de materia orgánica, y se trata de aprovechar esta para generar microorganismos en los procesos biológicos. Esta situación es común igualmente a los sistemas de biodisco y torre empacada.

4.4.1. Tanque de aireación.

El tanque es de concreto armado y tiene 17.7 m de largo, 8.80 m de ancho y 3.5 m de profundidad. El tirante de agua es de 3 m por lo que el volumen de almacenamiento es de 467 m^3 . El tiempo de retención hidráulica para un gasto de $Q = 20 \text{ lt/seg}$ es de 6.5 hr.

En este tanque se efectúa el mezclado de los microorganismos contenidos en lodos activados y las aguas residuales.

En la figura 4.10 se muestra el tanque de aireación y sus componentes.

4.4.2. Aereadores

El tanque cuenta con 2 aereadores de superficie de 10 H.P. de potencia distribuidos alternadamente a lo largo del tanque de aireación.

La fecha de los aereadores es de 3 pulgadas, de \emptyset y 86 cm de largo, posee 4 aspas con un diámetro de acción de 1.37m y giran a 68 rpm.

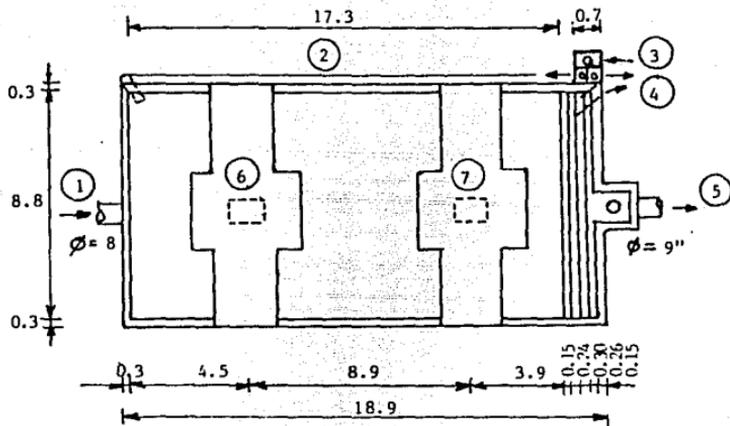


Fig. 4.10
TANQUE DE AERACION
(PLANTA)

- 1) Influyente
- 2) Recirculación
- 3) De Cárcamo de lodos
- 4) Al drenaje
- 5) Hacia el sedimentador secundario
- 6) Aerador No. 1
- 7) Aerador No. 2

En la figura 4.11 se muestra la distribución de los aereadores dentro del tanque de aereación.

4.4.3. Sedimentadores secundarios

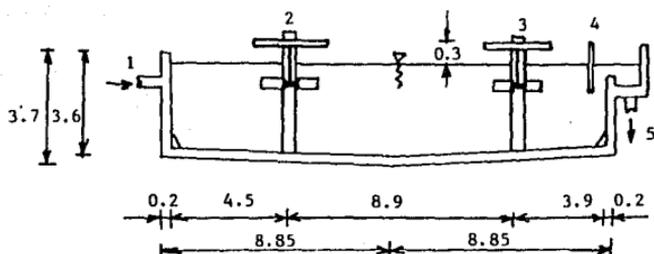
Los sedimentadores de las líneas 1, 2 y 3 son circulares y tienen una superficie de sedimentación de 27.3 m^2 . La alimentación se realiza por el centro a través de una columna de 1 m de diametro.

El líquido vierte por 6 orificios de $0.1 \text{ m} \times 0.36 \text{ m}$ y choca con una mampara concéntrica al tubo de alimentación de 0.90 m de profundidad.

Un puente giratorio tiene en su parte interior un sistema de rastras que conduce a los lodos sedimentados a una caja colectora, y en la parte superior, un desnatador. La velocidad del puente es de 1 revolución/4.5 min. La pendiente del fondo del decantador es de 5.4%.

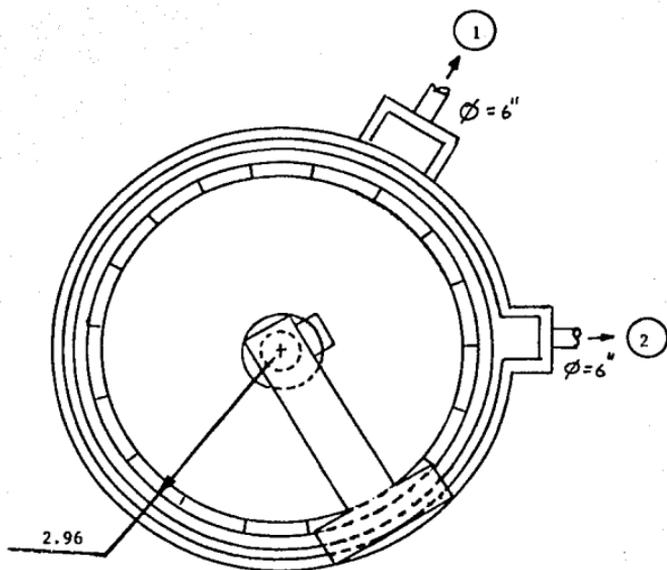
En la parte superior el sobrenadante pasa sobre un sistema perimetral de vertedores para ser recolectado en una caja y enviado por una tubería de 6" a los filtros de arena.

En las figuras 4.12 y 4.13 se muestra el sedimentador con sus componentes.



- 1) Influyente
- 2) Aerador No. 1
- 3) Aerador No. 2
- 4) Pantalla
- 5) Efluente hacia el decantador secundario.

Fig. 4.11
 TANQUE DE AERACION
 (CORTE)



- 1) A cãrcamo
- 2) A filtros

Fig. 4.12

SEDIMENTADOR - SECUNDARIO

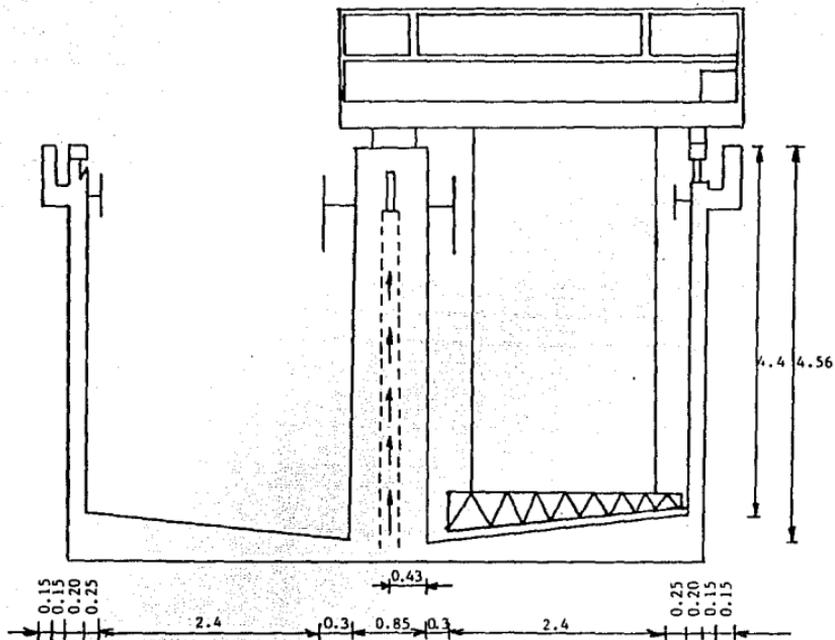


Fig. 4.13
 SEDIMENTADOR - SECUNDARIO

4.4.4. Cárcamo de recirculación de lodos.

El cárcamo de recirculación de lodos está construido de concreto armado; sus dimensiones son: 2.05 m de ancho, y 2.05 m de largo y 6.05 m de alto.

La llegada de los lodos provenientes del sedimentador secundario se realiza por medio de una tubería de 6" situada, según planos, a 50 cm del fondo. El paso de los lodos al cárcamo se realiza por el principio de vasos comunicantes.

El equipo de bombeo consiste de 2 bombas sumergibles de 10 H.P., que envía los lodos a una caja partidora por una tubería de 6".

En las figuras 4.14 y 4.15 se muestra el cárcamo con sus componentes principales.

4.4.5. Caja partidora del sistema de lodos activados.

Se encuentra en la esquina norte del tanque de aereación y sus medidas son 0.7 m de ancho, 1.05 m de largo y 0.8 m de alto. Esta dividida en 3 compartimientos: En el primero de 0.7 x 0.7 m, llegan los lodos provenientes, del cárcamo de recirculación de lodos, los 2 restantes de 0.35 x 0.35 m comunican respectivamente con el tanque de aereación y el drenaje. El objeto de esta caja es separar los sólidos sedimentados que deben de ser recirculados al tanque de aereación de los que serán desecha-

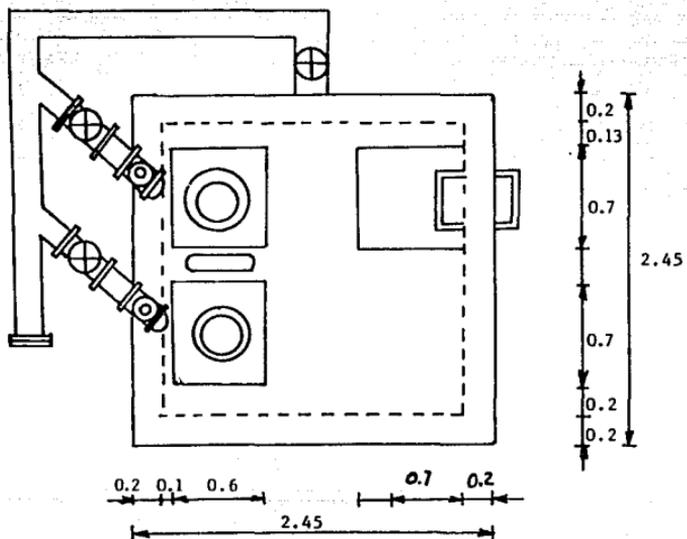


Fig. 4.14

CARCAMO RECIRCULACION DE LODOS

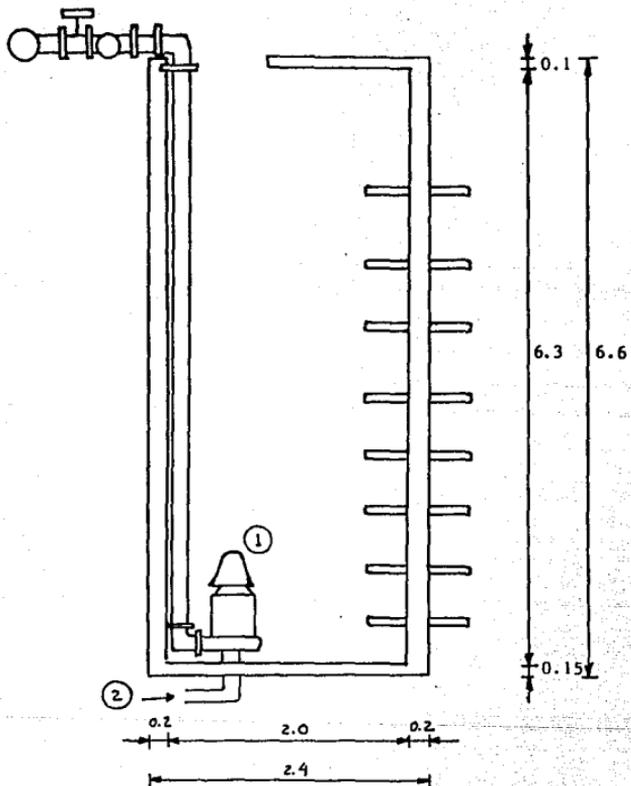


Fig. 4.15

CARCAMO DE RECIRCULACION DE LODOS

1. Bomba sumergible
2. Flujo de lodos del sedimentador secundario

dos (purga).

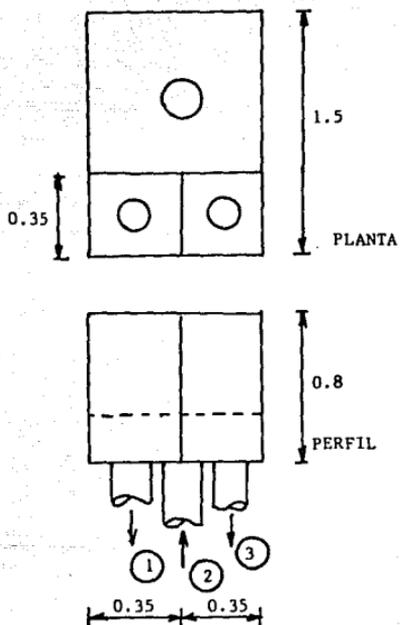
En la práctica la recirculación se realiza de forma continua y la purga es semicontinua a horas precisas del día. En la figura 4.16 se muestra la caja partidora y sus componentes principales.

4.5. SISTEMA DE BIODISCOS.

Este sistema de biodiscos, es un sistema de tratamiento biológico de biomasa fija y predominantemente aerobio. Consiste de una serie de discos de cloruro de polivinil ó de poliestireno colocados en vertical y estrechamente espaciados.

El principio de funcionamiento es el siguiente: Los discos parcialmente sumergidos en el agua residual, giran lentamente. En su superficie se desarrolla una capa de microorganismos (bimosa fija) responsable del proceso. El movimiento del disco provoca que la biopelícula este expuesta alternativamente al agua residual, de donde toma la materia orgánica, con el oxígeno cuando sale. La rotación también tiene por objeto remover los sólidos en exceso y mantenerlos en suspensión. Como es usual en los procesos biológicos, el biodisco está asociado a un sedimentador secundario.

El biodisco tiene un gasto de diseño de 10 lt/seg. El sistema es marca Autotrol modelo 601-253 Biosurf; las características de este biodisco son los siguientes:



- 1) Del cárcamo de lodos
- 2) Recirculación
- 3) A drenaje

Fig. 4.16
CAJA PARTIDORA

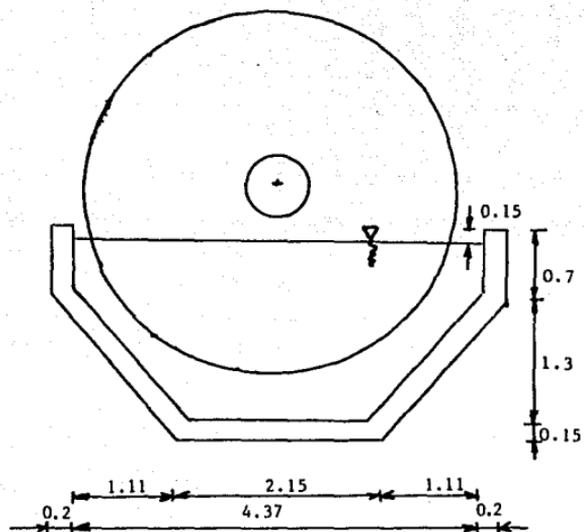


Fig. 4.17
BIODISCO

Area Superficial Total	8752 m ²
# de etapas	3
Superficie por Etapas	1 ^a 4590 m ²
	2 ^a 2081 m ²
	3 ^a 2081 m ²
Gasto de Diseño	7.5 lt/seg para una DBO de 150 mg/lt y 200 mg/lt de SS en el influente.

Los discos se encuentran dentro de un tanque de forma trapezoidal cuyo tirante de agua cubre el 40% de su superficie. El diámetro de cada unidad es de 3.6 m y giran a razón de 1.6 rpm, con la ayuda de un motor de 5 H.P. y un reductor.

En la figura 4.17 puede observarse el biodisco en forma esquemática.

4.6. SISTEMA DE FILTRO PERCOLADOR.

Este sistema es un proceso biológico aeróbico de biomasa fija. En la práctica se le suele llamar filtro bacteriano, filtro rociador, biotorre, etc.

Estos filtros contienen una carga hidráulica y orgánica que puede ser baja, intermedia, alta y super alta. El objetivo de la recirculación es incrementar la eficiencia y disminuir la cantidad de moscas y malos olores.

El sistema de distribución del agua es de tipo rotatorio. Consiste de 4 brazos con boquillas que giran en un plano horizontal por la reacción dinámica del agua que sale proveniente de la tubería.

El filtro tiene un empaque plástico y es de ventilación natural.

Su gasto de diseño es de 10 lt/seg. Consta de un cárcamo de bombeo del influente, la torre percoladora, una caja partidora, un cárcamo de bombeo del efluente y un decantador secundario.

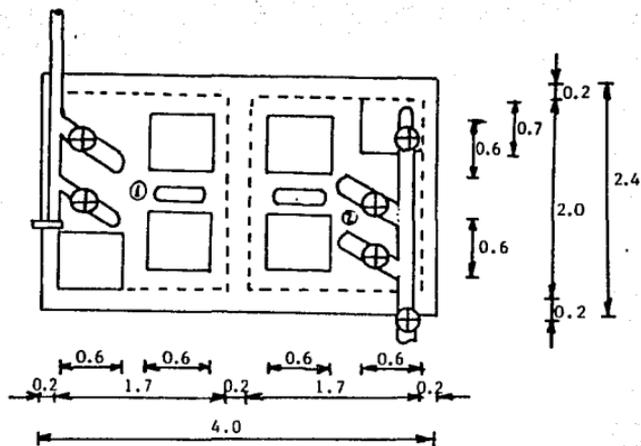
El tanque construido de concreto armado, tiene 3.44 m de diámetro y 6.44 m de altura. El empaque es de PVC y tiene diseño acanalado, el volumen que ocupa es de 41 m^3 .

En la parte inferior del tanque y en forma contigua se encuentran 2 ventanas de 0.4 m de ancho y 0.12 m de alto.

En las figuras 4.18 y 4.19 se observa el cárcamo de bombeo del filtro percolador y sus componentes principales.

4.6.1. Torre Percoladora.

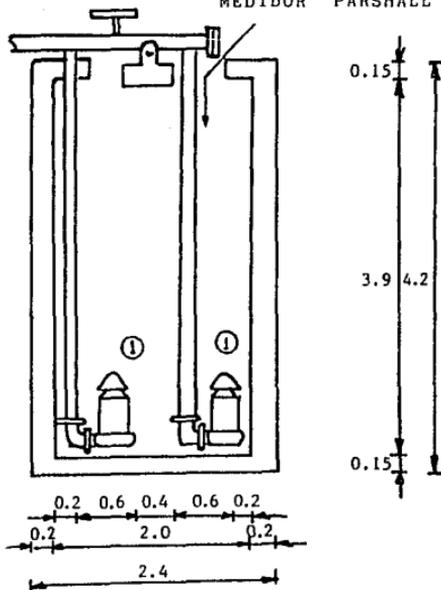
Una tubería, enterrada en casi su totalidad, de 4" de diámetro, comunica al cárcamo de alimentación con la parte inferior del filtro.



- 1) Cárcamo de alimentación.
- 2) Cárcamo del efluente.

Fig.4.18
 CARCAMO DE BOMBEO DEL
 FILTRO PERCOLADOR
 (PLANTA)

INFLUENTE PROVENIENTE DEL
MEDIDOR PARSHALL



(1) BOMBAS SUMERGIBLES

Fig. 4.19
CARCAMO DE BOMBEO DEL
FILTRO PERCOLADOR
(CORTE)

El líquido asciende por una columna central de concreto armado en cuya parte superior se encuentra el sistema rociador. Dicho equipo consiste de un cilindro de 0.4 m de diámetro y 1.1 m de alto, en la parte inferior tiene unidas 4 tuberías de 1.2 m de largo y 4" de diámetro. Los tubos son mantenidos en posición horizontal con cables de acero. El movimiento giratorio se efectúa por la reacción del agua al salir. En cada tubo existen 4 boquillas de 1 1/2" de diámetro.

La recolección del efluente se realiza en la parte inferior del filtro por una tubería de 6" de diámetro y es conducido a una caja partidora.

La figura 4.20 muestra la torres percoladora y sus componentes.

4.6.2. Caja partidora.

La caja partidora está formada por tres compartimientos. En el primero de 0.35 x 0.60 m de base y 0.80 m de profundidades se recibe al efluente el filtro percolador; los otros dos son iguales entre sí 0.35 x 0.35 x 0.80 m y se comunican respectivamente con el cárcamo de alimentación y con el cárcamo del efluente. La lámina que separa el compartimiento de entrada con los de salida es de 1 cm. de espesor. El gasto se regula mediante la apertura de una puerta corrediza accionada en forma manual.

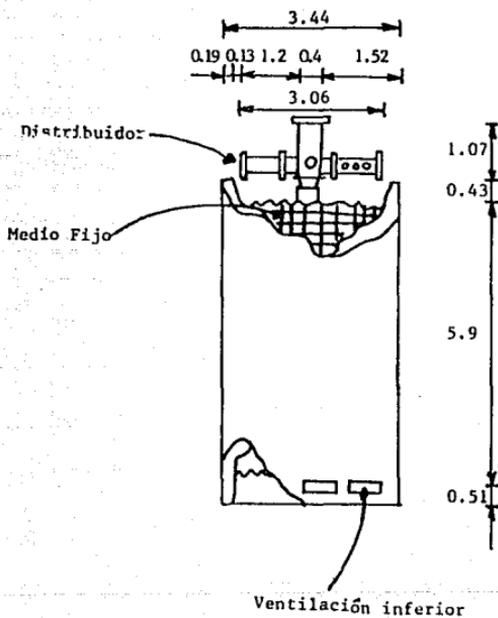


Fig. 4.20
 BIOFILTRO

En la figura 4.21 se muestra la caja partidora.

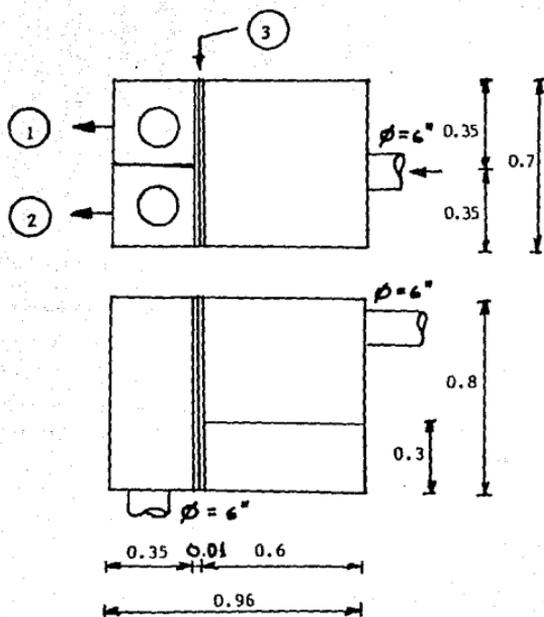
4.7. FILTROS DE ARENA.

La filtración terciaria de la planta se realiza mediante 6 filtros de arena a cielo abierto situados en un tanque de 1.8 m de ancho, 12.2 m de largo y 5.65 m de alto. Originalmente el medio filtrante estaba formado por una capa de antracita (0.50 m) y otra de arena (0.25 m); pero en la actualidad existe únicamente una capa de arena de 0.60 m de espesor.

El lecho filtrante tiene 1.8 m de ancho por 1.8 m de largo por lo que se cuenta con una superficie total para la filtración de 19.44 m^2 . El funcionamiento de los filtros 1 al 4 es de la manera siguiente:

El agua penetra a la cámara de filtración proveniente de la canaleta de recolección del efluente secundario y atraviesa el filtro pasando por un falso fondo, hacia una cámara contigua (2). Cuando esta cámara se llena se abre la compuerta que comunica con una 3a. cámara (3), común a los 4 filtros, y por último de ahí el agua pasa, por vasos comunicantes, al cárcamo de aguas tratadas.

El funcionamiento de los 2 filtros restantes difiere en que su efluente es directamente enviado a la cámara 3 sin pasar por la cámara intermedia. (2)



- 1) A cárcamo de alimentación
- 2) A cárcamo del efluente
- 3) Puerta Corrediza

Fig. 4.21
CAJA PARTIDORA DEL
FILTRO PERCOLADOR

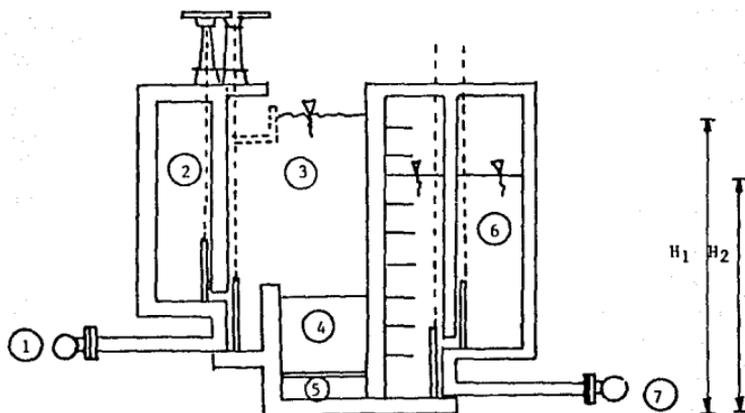
El lavado de los filtros se realiza a contra corriente con el agua contenida en la 3a. cámara. Se calcula que en promedio se gastan 23 m^3 de agua de esta cámara en cada lavado; a esto es necesario añadirle el agua contenida en las cámaras 2 y 1 que es enviada al drenaje antes de iniciar el lavado con el objeto de que el agua contenida en el recinto 3 pueda fluir hacia la cámara 1.

En la figura 4.22 se observa el filtro con sus componentes principales.

4.8. CÁRCAMO DE AGUAS TRATADAS Y DE CLORACION.

El cárcamo de aguas tratadas tiene las siguientes dimensiones internas: 2.30 m de ancho, 2.30 m de largo y 5.60 m de alto. Su función es la de acumular el agua tratada para ser bombeada a los tanques de almacenamiento que componen el sistema de irrigación de Ciudad Universitaria. Ese cárcamo cuenta con 4 bombas: dos de 15 H.P. y dos de 30 H.P.

A falta de un tanque para realizar la cloración este cárcamo es empleado como tanque de contacto. Para llevar a cabo la desinfección una bomba de 1 H.P. toma parte del agua del tanque de lavado y la conduce al cuarto de cloración donde se dosifica el cloro (Cl_2). El tanque que contiene al cloro se localiza después del desarenador. Por medio de una tubería de PVC se envía el agua clorada al cárcamo de aguas tratadas. El cloro se suministra a razón de 8 Kg/día.



- 1) Salida del agua de lavado
- 2) Canaleta de recolección del efluente secundario.
- 3) Canaleta de lavado.
- 4) Medio filtrante.
- 5) Falso fondo
- 6) Retrolavado
- 7) Salida del efluente.

Fig. 4.22
FILTRO DE ARENA

En la figura 4.23 se observa el cárcamo de aguas tratadas y de cloración.

4.9. CARCAMO DE AGUAS DE LAVADO Y PLUVIALES

En este cárcamo se mezclan las aguas de lavado de los filtros con los lodos secundarios de purga y las aguas pluviales para ser enviadas al drenaje. El agua que no puede ser absorbida por los filtros de arena es también colectada en este cárcamo. La forma del tanque es compleja. En este cárcamo, existen 4 bombas, Dos de 5 H.P. colocadas en el fondo del tanque, se sirven durante la operación normal de la planta. Las otras dos de 10 H.P. de potencia se encuentran colocadas en un piso intermedio entre el fondo y la superficie del tanque, y funcionan cuando el agua de lluvia inunda el cárcamo.

Este cárcamo es indispensable para la operación de la planta ya que no es posible captar indefinidamente el agua de lavado, las purgas y el drenaje del edificio. En la figura 4.24 se muestra el cárcamo de lavado y pluviales.

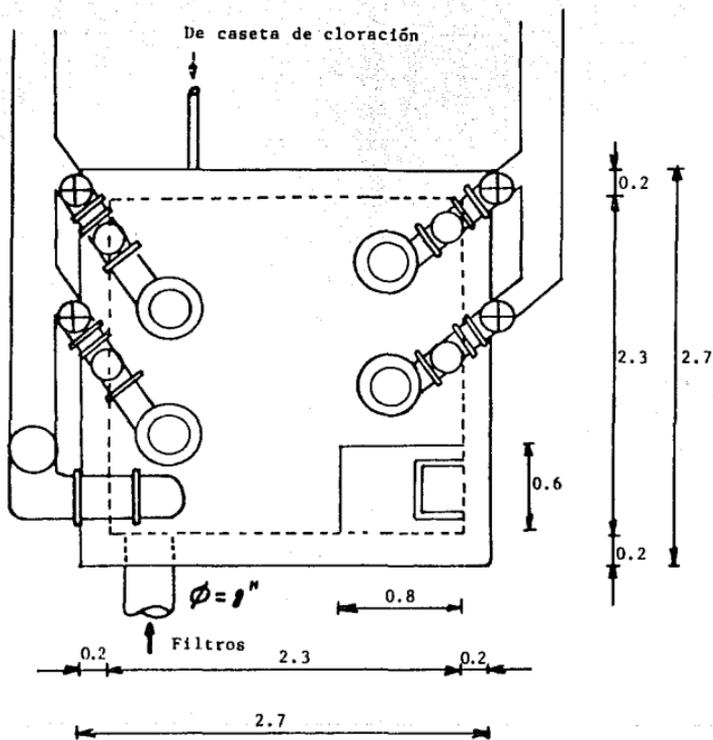


Fig. 4.23
 CARCAMO DE AGUAS TRATADAS Y DE CLORACION
 (PLANTA)

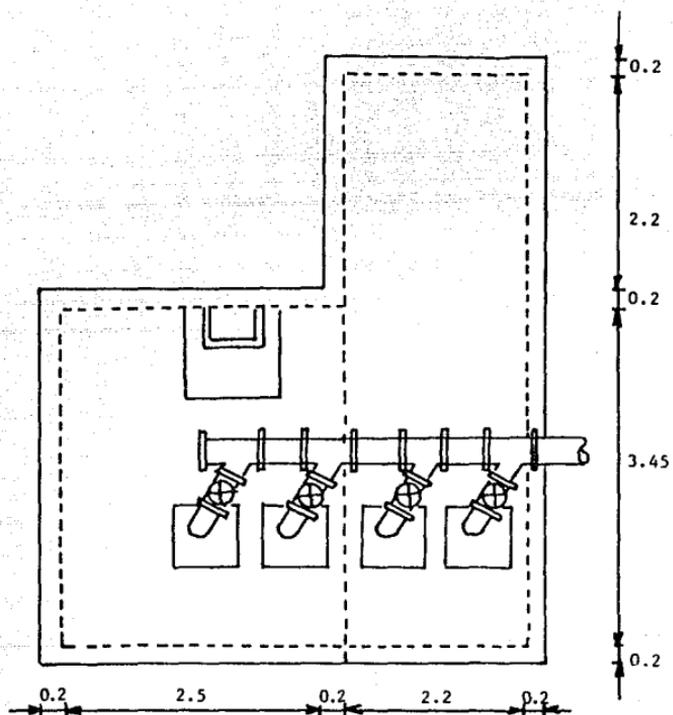


Fig. 4.24 CARCAMO DE AGUAS DE LAVADO Y PLUVIALES
(PLANTA)

4.10 EQUIPOS ELECTROMECHANICOS QUE SE USAN EN LA PLANTA

4.10.1. Subestación Eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria.

Datos Generales

Marca	Productos Industriales CMSA
Potencia	500 KVA
Clase de aceite	0A
No. de serie	0958-01-001
Voltaje	6600-220 < 127 V
Fases	3
Frecuencia	60 Hz
Elevación de temperatura	65°C
Altitud	2500 MSNM
IMP	5.7% a 85°C
Nivel básico de impulso	A.T. 75 KV B.T. 30 KV

4.10.2. Bomba Sumergible Utilizada en el Cárcamo de Recirculación de Lodos
en el Cárcamo de Lavado y el Cárcamo de Recirculación del Biofiltro

Datos Generales

Marca	IMPELSA
Modelo	LG-54-100
Potencia	5 H.P.
Velocidad	1750 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente a 220 V	14.2 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Ø Nominal Descarga	102 mm
Paso de esfera	60 mm
Instalación	Humeda Fija
Peso	135 kg.
Materiales	Fierro gris Acero inoxidable Bronce

4.10.3 Bomba Sumergible Utilizada en el Cárcamo de Lodos

Datos Generales

Marca	IMPELSA
Modelo	LG-24-76
Potencia del Motor	2 H.P.
Velocidad	1750 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente a 220 V	6.5 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Ø Nominal Descarga	76 mm.
Paso de Esfera	50 mm.
Instalación	Humeda Fija
Peso	70 Kg.
Materiales	Fierro Gris Acero Inoxidable Bronce

4.10.4. Bomba Sumergible Utilizada en el cárcamo de lavado y pluviales.

Datos Generales

Marca	IMPELSA
Modelo	LG-104-100
Potencia del Motor	10 H.P.
Velocidad	1750 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente a 220 V	28.2 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Ø Nominal Descarga	102 mm.
Paso de Esfera	50 mm.
Instalación	Humeda Fija
Peso	160 Kg.
Materiales	Fierro Gris Acero Inoxidable Bronce

4.10.5 Bomba Sumergible Utilizada en el Cárcamo de Captación.

Datos Generales

Marca	IMPELSA
Modelo	LG-154-200
Potencia del Motor	15 H.P.
Velocidad	1750 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente a 220 V	40.8 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Ø Nominal Descarga	203 mm.
Paso de Esfera	90 mm.
Instalación	Humeda Fija
Peso	350 Kg.
Materiales	Fierro Gris Acero Inoxidable Bronce

4.10.6 Motor Gusano Desarenador Empleado para Extraer el Exceso de Arena -
para Evitar Dañar el Equipo de Bombeo.

Datos Generales

Marca	ASEA
Potencia	1 H.P.
Velocidad	139 R.P.M.
Tensión	440/220 V
Corriente	2/4 A
Frecuencia	60 Hz
Modelo	90A-4/UABM 240
Reductor	139 R.P.M. Salida

4.10.7. Motor Sedimentador Empleado en los Sedimentadores Secundarios para
Extraer las Notas de las Aguas Tratadas.

Datos Generales

Marca	ASEA
Potencia	0.5 H.P.
Velocidad	85 R.P.M.

Tensión	440/220 V
Corriente	1.1/2.2 A
Frecuencia	60 Hz

4.10.8 Motor aereador utilizado en el tanque de aeración para mantener una continua oxigenación en las aguas negras durante el tratamiento

Datos Generales

Marca	Enclosed Motor
Potencia	10 H.P.
Velocidad	1735 R.P.M.
Tensión	230/460 V
Corriente	26/13 A
Frecuencia	60 Hz
Reductor Lightnin	
Relación de Velocidad	25:6
R.P.M. salida	68 R.P.M.
Modelo	74 Q 10

4.10.9. Motor Biodisco empleado para mantener un movimiento continuo de los discos y una exposición alternada de la materia orgánica en el agua residual.

Datos Generales

Marca	Electrical Motors
Potencia	5 H.P.
Velocidad	1150 R.P.M.
Tensión	230/460 V
Corriente	17/8.5 A
Frecuencia	60 Hz
P.H.	3
Reductor F.S.	1.4
H.P. entrada	6.7
Velocidad entrada	290 R.P.M.
Velocidad salida	11.3 R.P.M.
Ratio	25.755

4.10.10 Motores bombas verticales utilizados en el cárcamo de aguas tratadas para suministrar agua a ciudad universitaria

Datos Generales

Marca	U.S. de México
Potencia	15 H.P.

Velocidad	1731 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente	40.7/20.35 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3

Marca	U.S. de México
-------	----------------

Potencia	30 H.P.
Velocidad	1758 R.P.M.
Tensión	220/440 V
Corriente	78.4/39.2 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3

5 PROBLEMAS OPERATIVOS CAUSADOS POR LOS EQUIPOS E INSTALACIONES

Actualmente la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria presenta una serie de problemas operativos ocasionados por los equipos e instalaciones, muchos de estos problemas son de tipo civil pero nosotros nos enfocamos a analizar los problemas exclusivamente electromecánicos.

5.1 COLECTORES

La limpieza en los colectores se realiza en forma manual, lo que acarrea una deficiencia en el desazolve de los mismos, por lo que en ocasiones se generan cantidades importantes de sólidos que al irse acumulando provocan olores desagradables, aunado a esto lo molesto de extraerlos del alfuente de las aguas.

Las compuertas que impiden el paso del flujo tienen el problema de grandes fugas ocasionadas por hendiduras que se han producido por el uso y el deterioro por el paso del tiempo.

5.2 REJILLAS

El deterioro del sistema de rejillas ocasiona que sólidos de diversos tamaños se introduzcan al cárcamo de captación.

El espesor de las barras es de 4 mm. y por el mal estado en que se

encuentran, la separación entre ellas es muy variable.

El colector de Humanidades se encuentra con un ángulo de 12° en sus rejillas, siendo este no apropiado debiendo de ser del orden de 30 a 45° según las condiciones de diseño.

5.3 CARCAMO DE CAPTACION

El cárcamo de captación es de tipo húmedo, componiéndose de una sola cámara donde encuentran tanto el sistema de bombeo como el agua residual, lo que dificulta el mantenimiento y reparación de las bombas. La operación de la planta se ve continuamente afectada ya que es necesario detener su funcionamiento para eliminar los azolves y exceso de natas. La presencia continua de natas en el cárcamo favorece el desarrollo de condiciones sépticas y propicia el paso de grasas al sistema de tratamiento de aguas posterior, generando problemas con la sedimentación principalmente. Esto es originado principalmente por la posición del desarenador aguas arriba del bombeo inicial, situación totalmente anormal, ya que la remoción de arenas es precisamente con el fin de proteger a los equipos de bombeo.

5.4 EQUIPO DE BOMBEO

Actualmente los equipos (bombas sumergibles) no proporcionan los gastos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de los diferentes sistemas biológicos, provocando una eficiencia menor de la esperada. La mala calidad del equipo de bombeo (generalmente de 2 a 3 bombas por

cárcamo) se manifiesta en los continuos paros imprevistos a pesar de que las bombas no tienen funcionamiento continuo ya que trabajan alternadamente

5.5 MEDIDORES PARSHALL

La tubería de alimentación llega a un canal que en un origen se supuso era un medidor de flujo tipo Parshall y que actualmente no realiza ninguna función. Esta construcción se asemeja a un canal de Parshall pero actualmente las pendientes del piso no son las adecuadas no cumpliendo las especificaciones que debe tener un canal en su diseño. Existe un desnivel entre la llegada del agua y la entrada al desarenador provocado por este medidor, lo cual produce una aceleración del agua dentro del canal haciendo que el flujo de agua entre en condiciones desfavorables al desarenador.

5.6 DESARENADOR

Uno de los problemas del desarenador durante su funcionamiento es causado por la excesiva turbulencia debido a la diferencia de nivel entre la llegada del agua al canal y la entrada al desarenador por el canal Parshall construido a la entrada del desarenador.

Otro de los defectos más importantes del desarenador consiste en el sistema de la extracción de las arenillas el cual es un tornillo sin fin apoyado sobre una tolva. Existe una separación entre el tornillo y la tolva, por la cual las arenillas se desplazan nuevamente hacia el fondo del desarenador no logrando extraer partículas finas, y solamente

extrayendo partículas de dimensión mayor a la separación o abertura entre toiva y tornillo.

5.7 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Tanque de aereación, sedimentador secundario, cárcamo de recirculación de lodos y caja partidora.

5.7.1 Tanque de Aereación

Las aguas que fluyen al tanque de aereación a través del desarenador, se realiza por diferencia de niveles (0.80 m) a través de una tubería de 8" de diámetro. La obra de captación es muy estrecha en relación con el ancho del tanque y de forma cuadrangular lo que provoca la formación de zonas de alta turbulencia y un paso irregular al sedimentador. La mala nivelación del piso del tanque, hace que cuando se tenga que desazolvar, los problemas se compliquen, considerando que el tubo de desfogue esté 20 cms. arriba de algunas zonas del tanque. La proximidad de un conjunto habitacional aledaño al tanque de aereación provoca molestias para estos pobladores por coincidir las ventanas del primer piso de los edificios con el nivel de los aereadores, además de los olores producidos por la planta.

5.7.2 Aereadores

El tanque cuenta con dos aereadores con flecha de 3" de ϕ y 86 cms.

de largo, con 4 aspas con un β de acción de 1.37 m. y giran a 68 rpm., que son más que suficientes para los requerimientos de oxígeno, por lo que se acostumbra prender únicamente el aereador de entrada ya que los estudios realizados indican que únicamente es indispensable este, sin embargo se considera necesario utilizar los 2 aereadores para lograr una aeración homogénea.

Considerando que no es conveniente desperdiciar energía, se estima conveniente alternar el funcionamiento de los aereadores para uniformizar su desgaste, y una vez que se requiera su reemplazo se consideren equipos de menor potencia.

5.7.3 Sedimentador Secundario

El sistema de recolección de natas del tanque es defectuoso y prácticamente no recoge nada de los materiales flotantes que se producen como producto de la sedimentación. El problema del desnatador se debe a que el brazo recolector de natas no cubre la totalidad de la superficie por problemas en el diseño del sedimentador.

5.8 SISTEMA DE BIODISCOS

5.8.1 Tanque de biodisco

Hasta el momento no se ha efectuado el desazolve del tanque del biodisco por lo que aunado con la ausencia de sedimentación primaria y los

problemas asociados con el desarenador es necesario realizar esta labor. Este desazolve en este tipo de tanque es una tarea difícil por lo que hasta el momento no se cuenta con la infraestructura necesaria para realizar esta labor.

5.8.2 Sedimentador secundario II

Este tanque de sedimentación es análogo en funcionamiento al del sistema de lodos activos por lo que cuenta y carece de los mismos mecanismos del sedimentador secundario I.

5.9 SISTEMA DEL FILTRO PERCOLADOR

5.9.1 Cárcamo de bombeo.

Este cárcamo es de funcionamiento análogo a los otros instalados en la planta sirviendo para recolectar las aguas que provienen del desarenador, por lo que su deficiencia radica en el equipo de bombeo que se tiene instalado.

5.9.2 Torre Percoladora y filtro percolador

De los 3 sistemas de la planta empleados para el tratamiento de las aguas este es el que más se desconoce, por la ausencia en información más detallada de sus componentes (como características del empaque, rapidez de giro del sistema de alimentación en función del gasto, el porcentaje

de recirculación, etc.).

En el interior del filtro falta un módulo de empaque de las siguientes dimensiones 60 X 60 X 90 cms. lo que ocasiona una menor eficiencia en el funcionamiento del filtro.

La superficie de ventilación ($0.1m^2$) aproximadamente es la mitad de la requerida según consideraciones de diseño. Continuamente se tienen problemas con el balero de soporte del brazo distribuidor, originados por la carencia del sello de mercurio requerido en este tipo de mecanismo.

5.9.3 Caja partidora

Como la medición del gasto se efectúa según el tamaño de la abertura dejada por la compuesta la cual tiene marcas hechas con pinturas a fin de realizar la medición, es necesario hacer algunas modificaciones para poderlo usar de ser posible como un vertedor rectangular.

5.9.4 Sedimentador Secundario III

Este sedimentador es de funcionamiento análogo al sedimentador I y II por lo que cuenta y carece de los mismos mecanismos de los anteriores.

5.10 FILTROS

El problema principal observado y que ocasiona muy baja eficiencia

en el rendimiento de la planta son las fugas a través de las compuertas del agua que ha sido ya tratada. Estas compuertas están instaladas en la parte inferior de los filtros por lo que el agua que se fuga es enviada mediante un canal a otro cárcamo desperdiciando de esta manera gran cantidad de agua ya tratada.

5.11 CARCAMO DE AGUAS TRATADAS Y DE CLORACION

En este cárcamo no es posible almacenar mucha agua por su limitado tamaño por lo que se está considerando una posible ampliación de por lo menos el doble de su capacidad actual.

5.12 CARCAMO DE AGUAS DE LAVADO Y PLUVIALES

Son numerosos los desperfectos en el equipo de bombeo en este cárcamo, siendo este indispensable para la operación de la planta, ya que no es posible captar indefinidamente el agua de lavado, las purgas y el drenaje del edificio. Hace falta algún medio que permita enviar los excedentes de la filtración y el agua de lavado de los filtros nuevamente hacia la planta con la finalidad de recuperar el agua que ha sido ya tratada.

5.13 ACCION DEL TIEMPO DE LAS TUBERIAS

La rugosidad en las tuberías aumenta a medida que pasa el agua ya que ésta contiene diversos elementos químicos que producen las incrustaciones a lo largo de la red de las tuberías. Este problema se hace más inten-

so por el tipo de agua con la que se está trabajando por contener estas grandes cantidades de estos elementos.

5.14 SUB-ESTACION

Actualmente los equipos trabajan con un voltaje menor al nominal ocasionando una menor vida útil en todos los equipos electromecánicos principalmente en los motores.

El bajo voltaje es de aproximadamente un 10% menor al nominal y se tiene detectado a la salida del secundario del transformador.

Como se puede apreciar la gama de problemas operativos de los sistemas electromecánicos en la planta es muy amplia, relacionados principalmente con deficiencias en el diseño y falta de mantenimiento preventivo. Requiriendo un acotamiento en el problema, se consideró conveniente tratar de analizar con mayor detalle y proponer alternativas de solución a la falta de capacidad de los equipos de bombeo, los cuales se han tratado de operar a su capacidad nominal sin conseguirlo. Por esta razón, los subsecuentes capítulos del presente trabajo se avocan primordialmente a la evaluación de estos equipos y a tratar de establecer actividades de solución, entre las que destaca el suministro de mantenimiento preventivo a los diversos equipos.

6. ANALISIS Y EVALUACION DE BOMBAS Y MOTORES

Una vez identificados en forma general los problemas operativos mas comunes, del sistema electromecánico de la planta de tratamiento de aguas residuales, se decidió abocarse a analizar con mayor profundidad el aspecto de no alcanzar con las bombas sumergibles el gasto de diseño. De acuerdo con operadores del sistema y con investigadores del Instituto de Ingeniería, a pesar de varios esfuerzos, no ha sido posible operar el sistema de bombeo de alimentación a los gastos originalmente considerados en el diseño del sistema. Entre las posibles causas se citaron el factible deterioro de los impulsores, la disminución del área transversal de los conductos provocada por depósitos de materia orgánica o por deterioro del propio conducto, caída excesiva de carga en la conexión eléctrica, etc.

El funcionamiento correcto de estos elementos es esencial en la operación del resto del sistema, ya que los tiempos de retención, la posible transferencia de oxígeno, la dosificación de cloro, etc; están en función del gasto alimentado.

En el presente capítulo se muestran y analizan los resultados obtenidos en la etapa experimental de este estudio, los cuales con el fin de expresarse de una manera cronológica se dividen en dos secciones:

Análisis y Evaluación de las bombas sumergibles

Análisis y evaluación en los motores :

Se efectuaron varias pruebas preliminares para determinar las condiciones óptimas de operación de los diferentes equipos con los que se cuentan en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria.

6.1. ANALISIS Y EVALUACION DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES

6.1.1. Mediciones de gasto

Para tomar las lecturas de los gastos fue necesario variar el tirante de agua de cada carcamo cada 10 cm. y tomar el tiempo que tardaba en desalojar estos 10 cm., conociendo previamente el volumen midiendo el tiempo se encontraban los gastos para diferentes posiciones de la válvula de descarga.

Por otra parte estas mediciones de gasto se utilizaron para obtener las gráficas de altura manométrica (H_m) contra gasto (Q) y para ello se empleo la ecuación de Bernoulli Fig. 6.1. Además para llevar a cabo las mediciones fue necesario barrenar la tubería con un taladro de mano y hacerle cuerda para instalar un niple de 1/4" y colocar un manómetro para tomar la lectura de la presión de descarga cerrando la válvula de recirculación, variando el tirante del agua y cerrando la válvula de descarga un porcentaje, cada vez que se tomaba una lectura de presión.

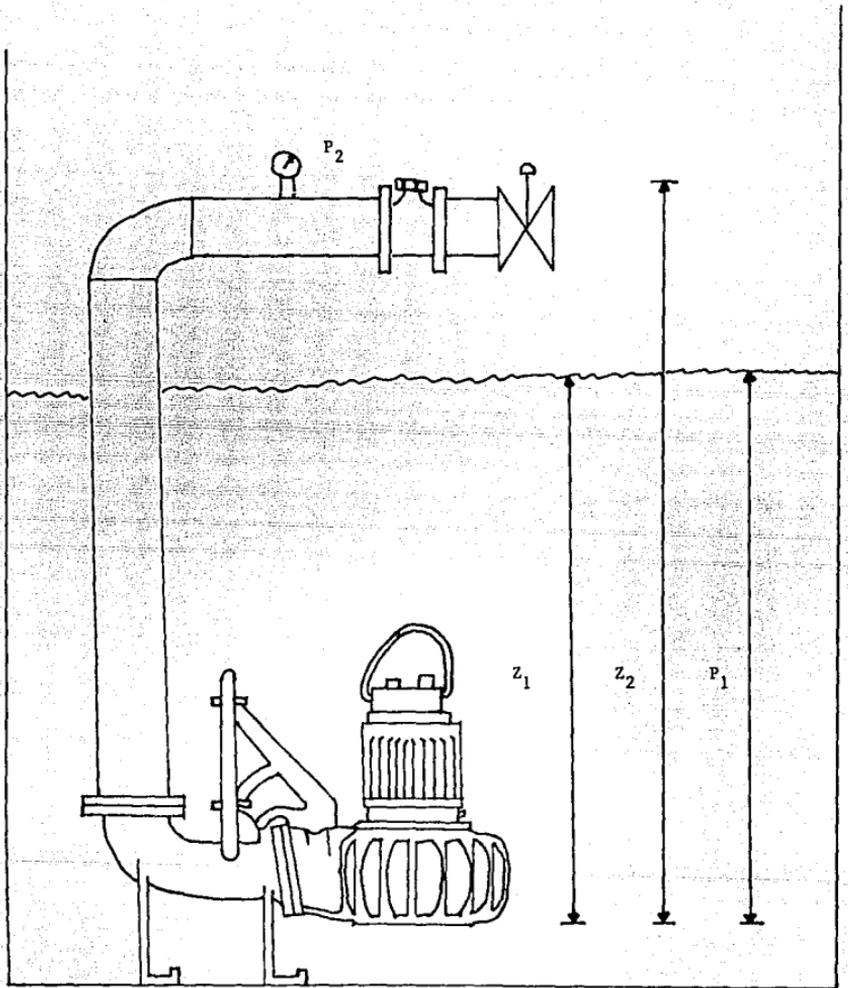


Fig. 6.1 Aplicación de la Ecuación de Bernoulli para los diferentes cárcamos de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria.

En las figuras 6.2 y 6.4 se muestran las gráficas gasto contra carga proporcionadas por el fabricante.

Desarrollo Experimental

Para obtener las gráficas se empleó la primera expresión de la altura manométrica (Ec. de Bernoulli). (12)

$$H_m = \left[\left(\frac{P_s}{\gamma} + Z_s + \frac{v_s^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_e}{\gamma} + Z_e + \frac{v_e^2}{2g} \right) \right] + H_r$$

Donde:

- H_m = Altura Manométrica (m)
- P_s = Presión de Salida (kg/cm^2)
- Z_s = Altura geodésica de salida (m)
- v_s = Velocidad de salida (m/seg)
- γ = Peso específico del agua (kg/m^3)
- g = Gravedad (m/seg^2)
- P_e = Presión de entrada (kg/cm^2)
- Z_e = Altura geodésica de entrada (m)
- v_e = Velocidad de entrada (m/seg)
- H_r = Pérdidas (m)

Bomba Sumergible Modelo LG-24-76

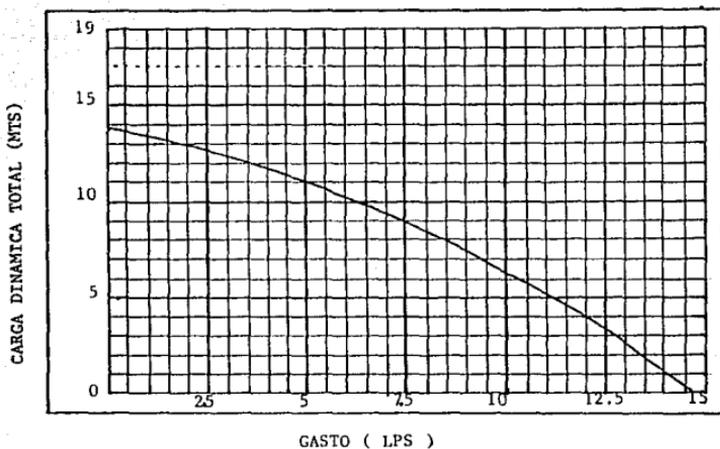


Fig. 6.2 Gráfica Carga dinámica - Gasto

Bomba Sumergible Modelo LG-54-100

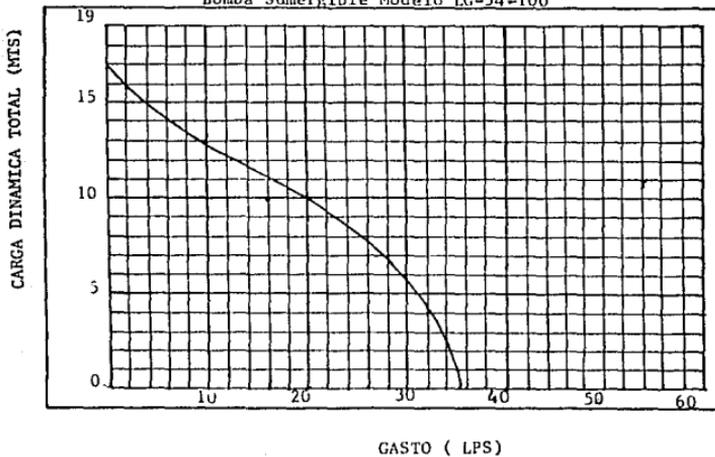


Fig. 6.3 Carga Dinámica -Gasto

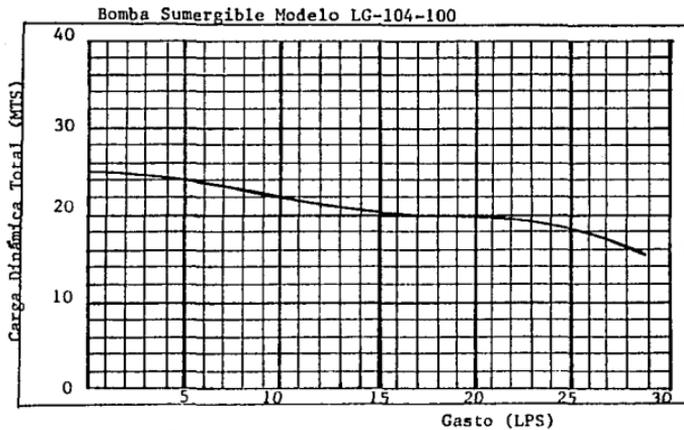


Fig. 6.4 Carga Dinámica - Gasto

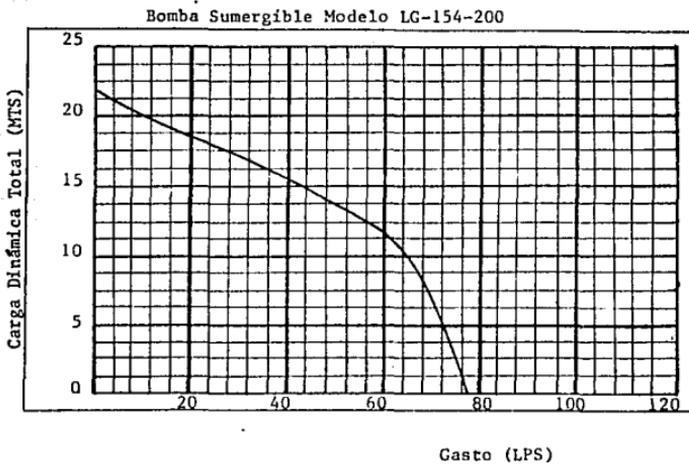


Fig. 6.5 Carga Dinámica - Gasto

Para evaluar las pérdidas se calculo el número de Reynolds (12) y la rugosidad relativa y poder utilizar el diagrma de Moody y obtener el coeficiente de rozamiento.

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

V = Velocidad de salida (m/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinemática del agua (m²/seg)

$$\text{Rugosidad Relativa } E = \frac{K}{D}$$

Donde:

K = Rugosidad absoluta (mm)

D = Diámetro de la tubería (mm)

Para calcular las pérdidas secundarias se utilizó el método de longitud equivalente.

Este método consiste en catalogar las pérdidas secundarias en la forma de una longitud equivalente de tubería recta es decir la longitud en metros de un trozo de tubería recta del mismo diámetro que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio en cuestión. Así cada codo, medidor de caudal, etc. se sustituirían por su longitud de tubería recta

equivalente denominada L_e . A continuación se aplicó la ecuación fundamental de las pérdidas primarias en la siguiente forma:

$$H_r = \lambda \frac{(L + \sum L_e)}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- H_r = Suma total de pérdidas primarias y secundarias (m)
- λ = Coeficiente de pérdidas obtenidas del diagrama de Moody
- L = Longitud total de los tramos rectos de tubería (m)
- $\sum L_e$ = Suma de todas las longitudes equivalentes de los accesorios diversos (m)
- v = Velocidad media en la tubería (m/s)

El nomograma es una herramienta para el cálculo de la longitud equivalente.

Este nomograma consta de tres escalas: uniendo con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio de que se trata con el punto de la escala correspondiente al diámetro interior de la tubería el punto de intersección de esta recta con la escala central nos da la L_e del accesorio.

Programa de Experimentación.

En la tabla 6.1 se presentan los resultados obtenidos del análisis,

aplicado a la bomba sumergible LG-154-200 instalada en el cárcamo de lavado y pluviales, para esto fue necesario tomar mediciones de presión de succión (P_1), presión de descarga (P_2), diferencia de altura entre la succión y la descarga ($Z_2 - Z_1$) corriente (A) y gasto (Q), con estas mediciones se procedió a calcular el número de Reynolds (Re), pérdidas primarias y secundarias (Hr), carga dinámica (Hm), velocidad de descarga (V_2). - Con los datos de la tabla 6.1 se obtuvo la gráfica 6.6 en la cual se aprecia una caída brusca de la carga dinámica, al entregar un gasto mayor. Por otra parte al comparar las fig. 6.5 y 6.6 se observan diferencias importantes en cuanto al gasto y carga dinámica que pueden manejar con respecto a las obtenidas por el fabricante.

La tabla 6.2 presenta los resultados de la bomba vertical de 15 H.P. instalada en el cárcamo de aguas tratadas. Con estos datos se obtuvo la gráfica 6.7, la cuál muestra dos caídas bruscas de carga dinámica al aumentar el gasto, lo que provoca un aumento considerable en el consumo de corriente. En la tabla 6.3 se muestran los resultados de la bomba sumergible modelo LG-154-200 instalada en el cárcamo de captación. Con los cuales se obtuvo la gráfica 6.8, en ella se aprecia que este equipo esta manejando un gasto y una carga dinámica menor a la teórica, de acuerdo con la gráfica del fabricante que se presenta en la fig. 6.5. En la tabla 6.4 se muestran los resultados para la bomba sumergible modelo LG-54-100 instalada en el biofiltro. Con los datos de la tabla 6.4. se obtuvo la gráfica 6.9, en ella se aprecia que el equipo esta manejando un gasto y una carga dinámica menor a la de diseño de acuerdo con el fabricante, como se muestra en la figura 6.3. En la tabla 6.5 se observan los resultados para

LECTURA	P_1 (Kg/cm ²)	P_2 (Kg/cm ²)	Q (m ³ /seg.)	V_2 (m/seg)	(Z_2-Z_1) (m)	No. Re	H_r (m)	H_m (m)	Amparaje (A)
1	0.31	0.58	0.0450	2.4943	1.9	333448.53	1.048	5.95	39
2	0.30	0.58	0.04352	2.3857	2.0	318930.42	0.959	6.049	39
3	0.29	0.60	0.04085	2.2394	2.1	299372.42	0.845	6.29	39
4	0.28	0.60	0.0364	1.9954	2.2	266753.47	0.671	6.27	39
5	0.27	0.68	0.03575	1.9598	2.3	261994.31	0.647	7.23	39.5
6	0.26	0.85	0.03393	1.86	2.4	248652.63	0.583	9.05	39
7	0.25	1.58	0.0328	1.798	2.5	240364.21	0.303	16.26	39
8	0.24	1.61	0.030	1.644	2.52	219776.84	0.277	16.59	39
9	0.242	1.67	0.025	1.370	2.54	183147.37	0.230	17.19	38.7
10	0.244	1.74	0.020	1.096	2.56	146517.89	0.184	17.79	37
11	0.244	1.80	0.015	0.822	2.58	117909.47	0.138	18.39	33
12	0.246	1.87	0.010	0.548	2.60	73258.94	0.092	18.99	30
13	0.248	1.93	0.005	0.274	2.62	36629.47	0.046	19.59	25.5
14	0.250	2.00	0.000	0.000	2.64	00000.00	0.000	20.20	24

TABLA 6.1 TABLA DE RESULTADOS BOMBA SUMERGIBLE MODELO LG-154-200

LECTURA	P_1 (kg/cm^2)	P_2 (kg/cm^2)	Q (m^3/seg)	V_2 (m/seg)	(Z_2-Z_1) (m)	No. Re	H_r (m)	H_m (m)	Amparaje (A)
1	0.292	2.2	0.014	1.7268	1.86	1.5389×10^5	0.574	21.66	26
2	0.2875	2.4	0.012	1.4801	1.905	1.3191×10^5	0.422	23.56	24.2
3	0.2835	2.5	0.012	1.4801	1.945	1.3191×10^5	0.422	24.64	24.2
4	0.280	2.7	0.010	1.2334	1.98	1.0992×10^5	0.2930	26.55	24.2
5	0.2765	2.75	0.010	1.2334	2.015	1.0992×10^5	0.2930	27.12	25
6	0.2735	2.9	0.009	1.1101	2.045	$.9893 \times 10^5$	0.2372	28.61	25
7	0.2730	2.93	0.008	0.9867	2.049	$.8793 \times 10^5$	0.2109	28.90	24.8
8	0.2721	3.00	0.006	0.740	2.058	$.6595 \times 10^5$	0.1582	29.50	24.6
9	0.2712	3.06	0.004	0.4933	2.067	$.4396 \times 10^5$	0.1054	30.09	24.4
10	0.2703	3.13	0.002	0.2466	2.076	$.2198 \times 10^5$	0.0527	30.64	24.2
11	0.2695	3.20	0.000	0.0000	2.085	0.00000	0.0000	31.39	24

TABLA 6.2 TABLA DE RESULTADOS BOMBA VERTICAL 15 HP.

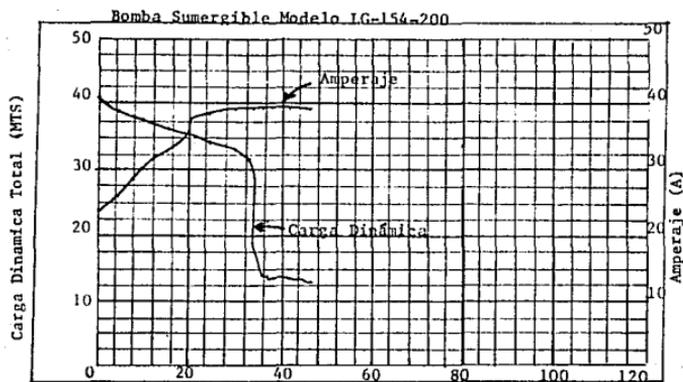


Fig. 6.6 Gráfica Carga Dinámica-Gasto, Amperaje-Gasto

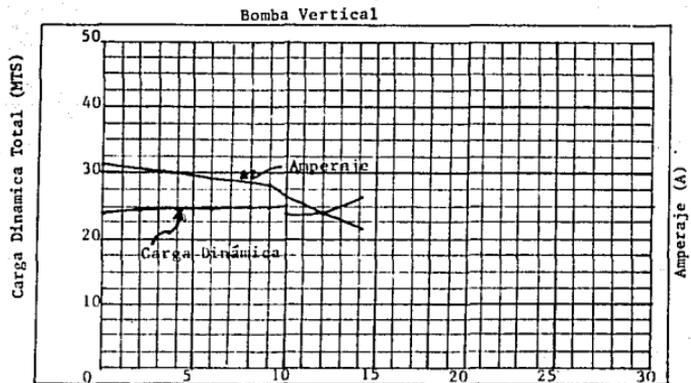


Fig. 6.7 Gráfica Dinámica-Gasto, Amperaje-Gasto

Lectura	P_1 (Kg/cm ²)	P_2 (Kg/cm ²)	Q (m ³ /seg)	V_2 (m/seg)	(Z_2-Z_1) (m)	No. Re	H_f (m)	H_m (m)	Amparaje (A)
1	1.8	1.05	0.0398	2.18	2.8	291431	0.725	12.46	36
2	1.7	1.05	0.0387	2.12	2.9	283410	0.686	12.60	37
3	1.6	1.05	0.0383	2.10	3.0	280736	0.673	12.70	37
4	1.5	1.05	0.0378	2.07	3.1	276726	0.654	12.96	37
5	1.4	1.10	0.0352	1.93	3.2	258010	0.568	13.54	37
6	1.3	1.10	0.0341	1.87	3.3	249989	0.533	13.70	36
7	1.2	1.10	0.0333	1.82	3.4	243305	0.505	13.86	36
8	1.1	1.10	0.0330	1.81	3.5	241968	0.500	14.06	36
9	1.0	1.10	0.0316	1.73	3.6	221273	0.456	14.20	36
10	0.9	1.10	0.0290	1.59	3.7	212557	0.385	14.30	35
11	0.8	1.10	0.0272	1.49	3.8	199189	0.338	14.44	34
12	0.7	1.15	0.0125	0.68	3.9	90905	0.0705	14.79	33
13	0.68	1.19	0.0113	0.61	3.92	81547	0.056	15.01	32.8
14	0.66	1.23	0.0103	0.56	3.94	74863	0.047	15.87	32.6
15	0.65	1.25	0.0098	0.53	3.95	70852	0.042	16.02	32.4

TABLA 6.3 TABLA DE RESULTADOS BOMBA SUMERGIBLE MODELO LG 154-200

LECTURA	P1 (Kg/cm ²)	P2 (Kg/cm ²)	Q (M ³ /seg)	v (m/seg)	(Z ₂ -Z ₁) (m)	No. Re	H _r (m)	H _m (m)	Amperaje (A)
16	0.63	1.29	0.0090	0.49	3.97	65505	0.036	16.75	32.2
17	0.61	1.33	0.0084	0.46	3.99	61494	0.032	16.87	32
18	0.60	1.35	0.0081	0.44	4.0	58821	0.029	16.92	32
19	0.58	1.43	0.0076	0.41	4.2	54810	0.025	16.94	30
20	0.56	1.51	0.0071	0.38	4.4	50799	0.022	16.96	29.5
21	0.55	1.55	0.0069	0.37	4.5	49463	0.020	16.98	29
22	0.53	1.63	0.0065	0.35	4.7	46789	0.018	16.99	28.5
23	0.52	1.67	0.0063	0.34	4.8	45452	0.015	16.99	28.3
24	0.51	1.71	0.0061	0.33	4.9	44115	0.010	17.00	28.1
25	0.50	1.75	0.0000	0.00	5.1	00000	0.000	17.00	28

CONTINUACION TABLA 6.3

Lectura	P_1 (Kg/cm ²)	P_2 (Kg /cm ²)	Q (m ³ /seg)	V (m/seg)	(Z_2-Z_1) (m)	No. Re	H_T (m)	H_m (m)
1	0.29	0.9139	0.0242	1.3267	1.215	177358.84	0.2398	7.783
2	0.28	0.942	0.0228	1.25	1.315	167105.26	0.2128	8.227
3	0.27	0.956	0.0223	1.2225	1.415	163428.94	0.2036	8.554
4	0.26	0.9701	0.0206	1.293	1.515	150969.57	0.1737	8.854
5	0.25	0.9701	0.0188	1.0307	1.615	137788.31	0.1447	9.014
6	0.24	0.9842	0.0161	0.8826	1.715	117989.68	0.1061	9.302
7	0.238	0.9842	0.0154	0.8010	1.701	110534.76	0.0994	9.475
8	0.238	1.05168	0.0143	0.78414	1.735	104827.13	0.0833	9.986
9	0.236	1.11916	0.0125	0.68568	1.755	91664.58	0.0640	10.67
10	0.235	1.1529	0.0116	0.63645	1.765	85083.31	0.0551	11.01
11	0.234	1.18664	0.0107	0.587	1.775	78472.63	0.0469	11.36
12	0.233	1.2204	0.0098	0.5375	1.785	71861.94	0.0393	11.71
13	0.23	1.3216	0.0071	0.3892	1.815	52029.89	0.0206	12.75
14	0.225	1.5396	0.0035	0.1946	1.865	26014.94	0.0051	15.10
15	0.22	1.7575	0.0000	0.0000	1.915	00000.00	0.0000	17.29

TABLA 6.4 TABLA DE RESULTADOS BOMBA SUMERGIBLE MODELO LG-54-100

Bomba Sumergible Modelo LG-154-200

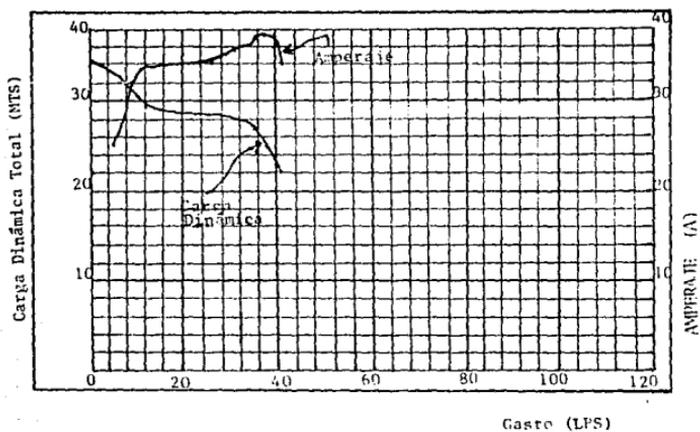


Fig. 6.8 Gráfica Carga Dinámica-Gasto, Amperaje-Gasto
Bomba Sumergible Modelo LG-154-100

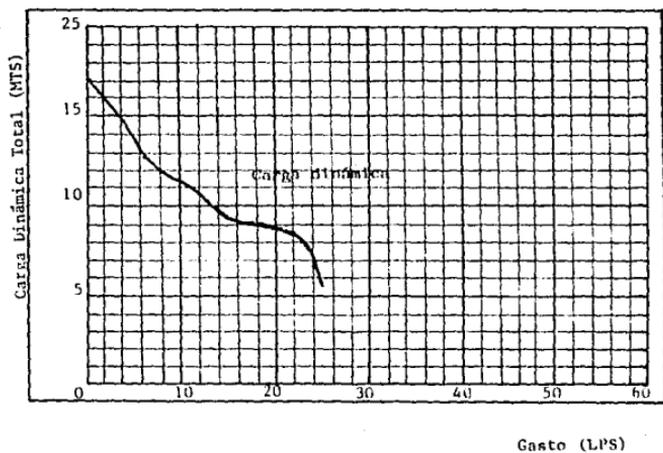


Fig. 6.9 Gráfica Carga Dinámica-Gasto

LECTURA	P_1 (Kg/cm ²)	P_2 (kg/cm ²)	Q (m ³ /seg)	V (m/seg)	Z_2-Z_1 (m)	No Re	H_r (m)	H_m (m)	Amperaje (A)
1	0.56	0.45	0.03112	1.7065	0.92	228136.25	0.412	0.387	18
2	0.55	0.45	0.03001	1.6455	1.02	219988.46	0.389	0.547	17.5
3	0.54	0.50	0.02954	1.6224	1.12	216890.08	0.378	1.233	17.5
4	0.53	0.50	0.02839	1.5566	1.22	208097.24	0.348	1.392	16.5
5	0.52	0.50	0.02801	1.5358	1.32	205322.64	0.339	1.579	16.1
6	0.51	0.50	0.02764	1.5156	1.42	202630.99	0.330	1.767	16.0
7	0.50	0.50	0.02764	1.5156	1.52	202630.99	0.330	1.967	16.0
8	0.49	0.53	0.02659	1.4581	1.62	194926.52	0.306	2.434	15.7
9	0.48	0.55	0.02659	1.4581	1.72	194926.52	0.306	2.834	15.9
10	0.47	0.55	0.02659	1.4581	1.82	194926.52	0.306	3.034	16.4
11	0.46	0.55	0.02626	1.4398	1.92	192489.89	0.298	3.224	17.8
12	0.458	0.56	0.02561	1.4043	1.94	187745.10	0.283	3.344	17.5
13	0.456	0.57	0.02504	1.3730	1.96	183556.60	0.271	3.467	17.2
14	0.454	0.58	0.02443	1.3396	1.98	179089.68	0.258	3.589	16.9

TABLA 6.5

TABLA DE RESULTADOS BOMBA SUMERGIBLE MODELO -54-100

Lectura	P_1 (Kg/cm ²)	P_2 (Kg/cm ²)	Q (m ³ /seg)	V (m/seg)	$Z_2 - Z_1$ (m)	No. Re	H_r (γr)	H_m (m)	Amperaje (A)
15	0.452	0.59	0.02383	1.3062	2.0	174622.74	0.245	3.712	16.6
16	0.45	0.60	0.02321	1.2728	2.02	170156.87	0.233	3.835	16.4
17	0.448	0.64	0.02168	1.1889	2.04	158938.33	0.203	4.235	16.1
18	0.446	0.68	0.02015	1.1049	2.06	147720.85	0.175	4.638	15.8
19	0.444	0.72	0.01862	1.0210	2.08	136508.38	0.150	5.043	15.5
20	0.442	0.76	0.01709	0.9371	2.10	125285.91	0.126	5.451	15.2
21	0.440	0.80	0.01556	0.8532	2.12	114068.06	0.104	5.861	15.0
22	0.438	0.99	0.01245	0.6826	2.14	112551.96	0.067	7.750	14.0
23	0.436	1.03	0.00934	0.5120	2.16	68449.26	0.037	8.151	14.2
24	0.434	1.07	0.00623	0.3415	2.18	45657.30	0.016	8.562	13.8
25	0.432	1.11	0.00313	0.1706	2.20	22814.01	0.004	8.985	13.4
26	0.430	1.15	0.00000	0.0000	2.22	00000.00	0.000	9.420	13.1

CONTINUACION TABLA 6.5

Bomba Sumergible Modelo LG-154-100

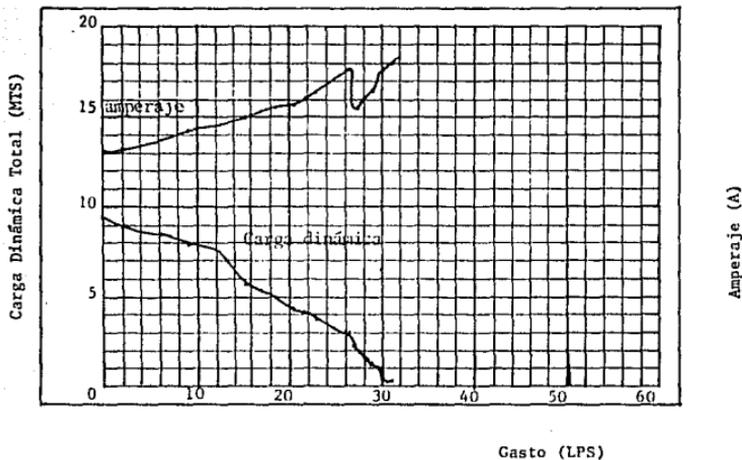


Fig. 6.10 Gráfica Carga Dinámica-Gasto, Amperaje-Gasto

la bomba sumergible modelo LG-54-100 instalada en el cárcamo de recirculación de lodos. Con estos se realizó la gráfica 6.10, esta muestra que el equipo se encuentra trabajando con una carga dinámica menor a la de diseño y por otra parte presenta un aumento sensible de corriente en las caídas bruscas de carga dinámica. En este caso se aprecia igualmente que las bombas en operación presentan condiciones de caudal y carga inferiores a las de diseño del equipo, de acuerdo con la curva proporcionada por el fabricante y que se muestra en la fig. 6.3.

Programa de Experimentación

Al comparar las gráficas (6.3 y 6.5) con las gráficas obtenidas (6.6, 6.7, 6.8, 6.9 y 6.10) se observa que en las condiciones actuales de operación, no podrán proporcionar el gasto necesario que requiere la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, tomando en cuenta el desgaste que tiene el equipo, las tuberías y también la alimentación del voltaje deficiente. Por otra parte se graficó también el amperaje contra gasto y se observó que al forzar los equipos a entregar un mayor gasto se incrementa considerablemente el consumo de corriente lo que provoca fallas en los equipos. Se concluye que las gráficas proporcionadas por el fabricante no corresponden a la operación de los equipos lo que provoca un deficiente funcionamiento de la planta. Otro factor que influye a ello es la mala calidad del doble sello mecánico de las bombas lo que provoca que varios equipos no se encuentren trabajando actualmente.

6.2. ANALISIS Y EVALUACION EN LOS MOTORES (10)

Una vez demostrado que la falta de capacidad de las bombas no era atribuible a problemas mecánicos, y que se detectó una disminución en la potencia eléctrica, se consideró conveniente llevar a cabo una evaluación eléctrica de los motores, tanto en los empleados en los sistemas de bombeo, como en los empleados en la turbomaquinaria de la planta. A continuación se presentan los resultados de esta evaluación.

6.2.1. Mediciones de Voltaje y Amperaje

Se tomaron las mediciones de voltaje y amperaje con un volt-amperímetro marca Kyoritsu C.A., para comprobar en que condiciones se encuentran trabajando los equipos 3, 7, 8, 13, 14, 20, 21, 22 y 26, estos resultados se muestran en la tabla 6.6; cabe aclarar que este amperímetro tiene una precisión de $\pm 5\%$. Para las mediciones de voltaje entre fases se empleó una escala de 0-300 Volts.

Para las mediciones de voltaje de cada una de las fases con respecto al neutro se utilizó una escala de 0-150 Volts. Por otra parte para las mediciones de amperaje se empleó una escala de 0-10 Amper para los equipos 7 y 14, una escala de 0-30 Amperes para los equipos 3, 8, 13, 20 y 26, y una escala de 0-100 Amperes para los equipos 9, 21 y 22. Estos voltajes y corrientes se encuentran en la tabla 6.6. Al compararlos con los datos de placa encontramos que hay una variación de voltaje entre 6.8% y 9.6% pero siempre a la baja y una variación de corrientes entre 2.1% y 20% en

EQUIPO	VOLTAJE EN TRES FASES	VOLTAJE CON RESPECTO AL NEUTRO (V)	AMPARAJE (A)	VOLTAJE Y EMPARAJE DE PLACA
Equipo # 7 Sedimentador 3/4 H.P.	AB-202 V	AN-118 V	A-1.9 A	220 V
	BC-202 V	BN-118 V	B-2.05A	2.4 A
	AC-204 V	CN-118 V	C-1.9 A	
Equipo # 8 Bomba Sumergible 10 H.P.	AB-200 V	AN-120 V	A-26.5A	220 V
	BC-200 V	BN-120 V	B-26.5A	32 A
	AC-200 V	CN-120 V	C-25 A	
Equipo #9 Bomba Sumergible 10 H.P	AB-202 V	AN-115 V	A-39.5A	220 V
	BC-202 V	BN-115 V	B-39.5A	32 A
	AC-202 V	CN-115 V	C-39.5A	
Equipo # 13 Bomba sumergible 5 H.P.	AB-200 V	AN-115 V	A-14.5A	220 V
	BC-200 V	BN-115 V	B-14.5A	14.2A
	AC-200 V	CN-115 V	C-14.5A	
Equipo # 14 Bomba Sumergible 2H.P.	AB-205 V	AN-115 V	A-4.8 A	220 V
	BC-205 V	BN-115 V	B-5.0 A	6.5 A
	AC-205 V	CN-115 V	C-5.0 A	
Equipo # 3 Bomba sumergible 5 H.P	AB-205 V	AN-120 V	A-18.5A	220 V
	BC-205 V	BN-120 V	B-17.8A	14.2A
	AC-205 V	CN-120 V	C-18.0A	
Equipo # 20 Bomba sumergible 5 H.P.	AB-202 V	AN-120 V	A-14.5A	220 V
	BC-202 V	BN-120 V	B-14 A	14.2A
	AC-202 V	CN-120 V	C-14.5 A	
Equipo #21 Bomba sumergible 15 H.P.	AB-205 V	AN-120 V	A-44 A	220 V
	BC-205 V	BN-120 V	B-44 A	40.8 A
	AC-205 V	CN-120 V	C-44 A	
Equipo # 22 Bomba Sumergible 15 H.P.	AC-205 V	AN-119 V	A-43 A	220 V
	AB-205 V	BN-119 V	B-42 A	40.8 A
	BC-208 V	CN-118 V	C-44 A	
Equipo # 26 Bomba sumergible 15.H.P.	AB-205 V	AN-120 V	A-24 A	220 V
	BC-205 V	BN-120 V	B-23.5 A	40.7 A
	AC-205 V	CN-120 V	C-23.2 A	

TABLA 6.6

ambos sentidos. Por lo que se puede concluir que la deficiente alimentación de voltaje provoca que los equipos trabajen forzados y por lo mismo consuman más corriente. En la práctica, se debe lograr que la velocidad, la capacidad y las características del par del motor sean adecuadas a las necesidades de la carga y después comprobar si el motor funcionan por debajo de los límites de corriente y temperatura. La tensión de placa de 220 Volts de un motor indica que ese motor se puede usar en un sistema de 240 Volts o de 208 Volts (notese que la variación hacia arriba o hacia abajo no excede el 10% de 220 Volts). Ver tabla 6.7. Ahora analizando la variación de la tensión en los motores de inducción. Los efectos más significativos que produce la variación de la tensión sobre las características de un motor de inducción son los siguientes:

Cuando la tensión que recibe el motor en sus terminales es más baja que su tensión de placa, se reduce su par de arranque y su par máximo de marcha, mientras que la elevación de temperatura a plena carga es mayor. Cuando la tensión que recibe el motor en sus terminales es mayor que su tensión de placa, se incrementa su par de arranque aumentando entonces la fuerza de aceleración del equipo que es manejado por el motor; otro efecto de la tensión mayor es el incremento de la corriente de arranque del motor que trae como consecuencia una gran caída de tensión en el circuito alimentador, lo cual ocasiona a su vez fluctuaciones de tensión en el equipo de alumbrado y otros equipos conectados a dicho alimentador. En general las tensiones ligeramente arriba de la nominal de placa del motor producen efectos de menor deterioro que las tensiones ligeramente abajo. En la tabla 6.8 se muestran los efectos generales de las variaciones de la

RANGOS DE TENSION DE MOTORES STANDAR

Tensión Nominal del Sistema (VOLTS)	Tensión de Placa (Volts)
MOTORES TRIFASICOS	
208	200
240	220
480	440

TABLA 6.7

CARACTERISTICA QUE VARIA		PAR DE ARRANQUE Y EN MARCHA	VELOCIDAD SINCRONICA	% DE DESLIZAMIENTO	VELOCIDAD A PLENA CARGA	EFICIENCIA A PLENA CARGA	FACTOR DE POTENCIA A PLENA CARGA	CORRIENTE A PLENA CARGA
VOLTAJE	120 %	AUMENTA 44%	NO VARIA	DECRECE 30%	AUMENTA 1.5%	AUMENTA LIGERAMENTE	DISMINUYE 5 a 15 PUNTOS.	DECRECE 11%
	110%	AUMENTA 21 %	NO VARIA	DECRECE 17%	AUMENTA 1 %	AUMENTA 0.5 a 1 PUNTO	DISMINUYE 3 PUNTOS	DECRECE 7 %
	90 %	DECRECE 19 %	NO VARIA	AUMENTA 23 %	AUMENTA 1.5 %	DISMINUYE 2 PUNTOS	AUMENTA 1 PUNTO	AUMENTA 11 %
FRECUENCIA	100%	DECRECE 10 %	AUMENTA 5%	PRACTICAMENTE NO VARIA	AUMENTA 5 %	AUMENTA LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE.	DECRECE LIGERAMENTE
	95%	AUMENTA 11 %	DECRECE 5 %	PRACTICAMENTE NO VARIA	DECRECE 5 %	AUMENTA LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE

TABLA 6.8

EFFECTO DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE Y FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION

tensión sobre las características de un motor de inducción (también se incluye los de la variación de la frecuencia).

Para realizar mejor el estudio y análisis de los motores fue necesario obtener el factor de potencia debido a que no se contaba con este dato y así obtener la potencia en la flecha entregada por estos equipos, para esto fue necesario tomar las formulas del manual de selección y operación de agua y sistemas de bombeo estos resultados se encuentran en la tabla 6.9 El Cálculo del factor de potencia se realizó utilizando la siguiente ecuación.

$$F.P. = \frac{W}{1.732 \times E \times I}$$

Donde:

- W = Potencia en Watts
- E = Tensión entre fases
- I = Corriente en amperes

A continuación se presentan los cálculos para obtener los factores de potencia de los diversos equipos analizados.

Equipo # 3 5 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{5 (746)}{1.732 \times 205 \times 18.1} = 0.58$$

Equipo # 7 3/4 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{3/4 (746)}{1.732 \times 202.66 \times 1.95} = 0.81$$

Equipo # 8 10 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{10 (746)}{1.732 \times 200 \times 26} = 0.82$$

Equipo # 9 10 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{10 (746)}{1.732 \times 202 \times 39.5} = 0.53$$

Equipo # 13 5 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{5 (746)}{1.732 \times 200 \times 14.5} = 0.74$$

Equipo # 14 2 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{2 (746)}{1.732 \times 205 \times 4.93} = 0.85$$

Equipo # 20 5 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{5 (746)}{1.732 \times 205 \times 14.33} = 0.73$$

Equipo # 21 15 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{15 (746)}{1.732 \times 205 \times 44} = 0.71$$

Equipo # 22 15 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{15 (746)}{1.732 \times 206 \times 43} = 0.72$$

Equipo # 26 15 H.P.

$$\text{F.P.} = \frac{15 (746)}{1.732 \times 205 \times 40} = 0.78$$

La potencia real se determina de acuerdo con la siguiente fórmula

(9)

$$P \text{ (real)} = V I \cos \phi$$

Donde:

V = Tensión entre fases en volts

I = Corriente en Amperes

Los cálculos para obtener la potencia real de los diversos equipos analizados se presenta a continuación.

Equipo # 3 5 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 205 \times 18.1 \times 0.58 = 2152.09 \text{ Watts} = 2.88 \text{ H.P.}$$

Equipo # 7 3/4 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 202.66 \times 1.96 \times 0.81 = 320.1 \text{ Watts} = 0.429 \text{ H.P.}$$

Equipo # 8 10. H.P.

$$P_{(\text{real})} = 200 \times 26 \times 0.82 = 4264 \text{ Watts} = 5.71 \text{ H.P.}$$

Equipo # 9 10 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 202 \times 39.5 \times 0.53 = 4228.87 \text{ Watts} = 5.66 \text{ H.P.}$$

Equipo # 13 5 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 200 \times 14.5 \times 0.74 = 2146 \text{ Watts} = 2.87 \text{ H.P.}$$

Equipo # 14 2 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 205 \times 4.93 \times 0.85 = 859.05 \text{ Watts} = 1.15 \text{ H.P.}$$

Equipo # 20 5 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 205 \times 14.33 \times 0.73 = 2144.48 \text{ Watts} = 2.875 \text{ H.P.}$$

Equipo # 21 15 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 205 \times 44 \times 0.71 = 6404.2 \text{ Watts} = 8.58 \text{ H.P.}$$

Equipo # 22 15 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 206 \times 43 \times 0.72 = 6377.76 \text{ Watts} = 8.55 \text{ H.P.}$$

Equipo # 26 15 H.P.

$$P_{(\text{real})} = 205 \times 40 \times 0.78 = 6396 \text{ Watts} = 8.57 \text{ H.P.}$$

Finalmente el cálculo de la potencia en la flecha se desarrolla de acuerdo con la siguiente fórmula. (9)

$$\text{Potencia en la flecha} = \frac{I \times E \times N \times f. p.}{746}$$

- N = Eficiencia en decimales
- f.p. = Factor de potencia
- E = Tensión entre fases en Volts
- I = Corriente en amperes

De acuerdo con esta ecuación la potencia de la flecha para los equipos analizados se obtiene como sigue:

Equipo # 3 5 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{18.1 \times 205 \times 1.732 \times 0.576 \times 0.58}{746} = 2.87 \text{ H.P.}$$

Equipo # 7 3/4 H.P.

$$\text{Pot en la flecha} = \frac{1.95 \times 202.66 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.81}{746} = 0.42 \text{ H.P.}$$

Equipo # 8 10 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{26 \times 200 \times 1.732 \times 0.571 \times 0.82}{746} = 5.65 \text{ H.P.}$$

Equipo # 9 10 H.P.

$$\text{Pot en la flecha} = \frac{39.5 \times 202 \times 1.732 \times 0.56 \times 0.53}{746} = 5.55 \text{ H.P.}$$

Equipo # 13 5 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{14.5 \times 200 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.74}{746} = 2.85 \text{ H.P.}$$

Equipo # 14 2 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{4.93 \times 205 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.85}{746} = 1.14 \text{ H.P.}$$

Equipo # 20 5 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{14.33 \times 205 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.73}{746} = 2.85 \text{ H.P.}$$

Equipo # 21 15 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{44 \times 205 \times 1.732 \times 0.572 \times 0.71}{746} = 8.50 \text{ H.P.}$$

Equipo # 22 15 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{43 \times 206 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.72}{746} = 8.44 \text{ H.P.}$$

Equipo # 26 15 H.P.

$$\text{Pot. en la flecha} = \frac{40 \times 205 \times 1.732 \times 0.57 \times 0.78}{746} = 8.46 \text{ H.P.}$$

Como se puede observar en la tabla 6.9 los equipos estan entragando un 50% de la potencia total, por lo que se puede concluir que el bajo voltaje ocasiona que los equipos y la planta en general no operen con la eficiencia adecuada. Este bajo voltaje, de acuerdo con los resultados obtenidos se debe a que la subestación no proporciona el voltaje necesario y tomando en cuenta que hay caídas de tensión es más difícil aun que los equipos operen con mayor eficiencia.

EQUIPO	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA REAL (H.P.)	POTENCIA EN LA FLECHA (H.P.)
Equipo # 3 Bomba Sumergible 5.H.P.	0.58	2.88 H.P.	2.87 H.P.
Equipo # 7 Sedimentador 3/4 H.P.	0.81	0.429 H.P.	0.423 H.P.
Equipo # 8 Bomba Sumergible 10. H.P.	0.82	5.71 H.P.	5.65 H.P.
Equipo # 9 Bomba Sumergible 10 H.P.	0.53	5.66 H.P.	5.55 H.P.
Equipo # 13 Bomba Sumergible 5.H.P.	0.74	2.87 H.P.	2.85 H.P.
Equipo # 14 Bomba Sumergible 2.H.P.	0.85	1.15 H.P.	1.14 H.P.
Equipo # 20 Bomba Sumergible 5 H.P.	0.73	2.875 H.P.	2.86 H.P.
Equipo # 21 Bomba Sumergible 15.H.P.	0.71	8.58 H.P.	8.50 H.P.
Equipo # 22 Bomba Sumergible 15 H.P.	0.72	8.55 H.P.	8.44 H.P.
Equipo # 26 Bomba Vertical. 15 H.P.	0.78	8.57 H.P.	8.46 H.P.

TABLA 6.9

7. MANUAL DE MANTENIMIENTO

De acuerdo con las personas encargadas de la operación y mantenimiento actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria no cuenta con un manual de mantenimiento preventivo y correctivo para sus equipos electromecánicos, por lo que considerandolo esencial se decidió que en este trabajo se incluyera un avance de este documento. Para integrar las diferentes actividades necesarias para proporcionar mantenimiento a los equipos electromecánicos fué necesario acudir a los fabricantes de este tipo de equipo con el fin de elaborar un manual adecuado con las posibilidades de los operadores, así como las instalaciones con que se dispone en la planta. Cabe recalcar que el objetivo primordial de este manual esta enfocado a la operación y mantenimiento de las bombas utilizadas en el proceso de tratamiento.

7.1. MANUAL DE INSTALACION, USO Y MANTENIMIENTO PARA LAS BOMBAS SUMERGIBLES SERIE LG (13)

7.1.1. Manejo

La Bomba no deberá tirarse de los cables eléctricos; para esto se deberá de utilizar una cadena sujeta a una asa.

7.1.2. Instalación Eléctrica

Para la conexión de las bombas LG a su arrancador magnético, Ud. cncentrará dos cables, uno de corriente (4 polos) y otro de control (2 polos). El cable de corriente deberá conectarse al suministro, asegurándose que el polo blanco sea el neutro (tierra efectiva) y los otros a las 3 fases respectivamente (fig. 7.1). El cable de control está conectado a un circuito termopar que desconecta a 125°C y restablece a 75°C colocado en los devanados del monor; debe conectarse en serie con la bobina del arrancador magnético para que al abrirse en caso de sobre-temperatura corte el suministro de energía. Esta falla puede presentarse por:

- a) Trabajo en seco.
- b) Falla de corriente de alimentación
- c) Bloqueo del Impulsor
- d) Bombeo de líquidos demasiado densos o viscosos.

7.1.3. Precauciones de Operación.

1. Verifique el ciclaje eléctrico. Esta bomba es de 60 ciclos.
2. Confirme que el arrancador o switch tenga fusibles apropiados.
3. El alambre blanco del cable eléctrico deberá ser conectado siempre apropiadamente a tierra efectiva (no se opere esta bomba sin conectarse a tierra efectiva).

Instalación a 220 V
Suministro

Bomba

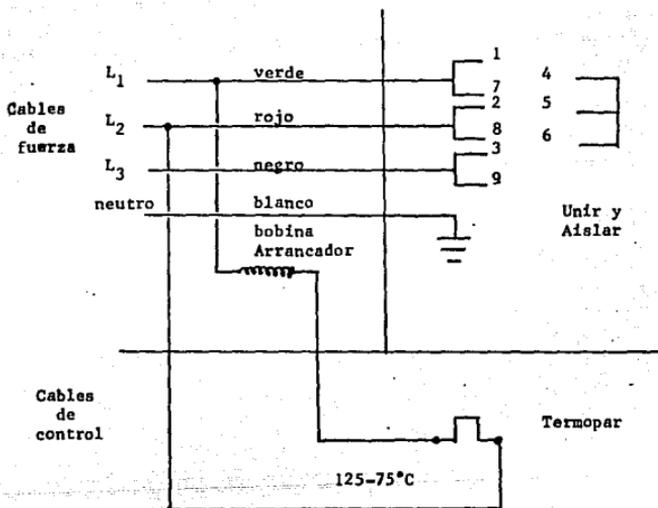


Fig 7.1 Diagrama de Conexión - Bomba serie LG -

4. Confirme que su tolerancia de voltaje sea 220 volts. \pm 10% en las trifásicas o 440 Volts. Si así fué construido el motor.

5. Asegurese del voltaje de funcionamiento: vea la placa de nomenclatura de la bomba.

6. Si el motor trabaja en reversa decrecerá la capacidad de bombeo. Esto puede suceder si al conectarse las bombas de corriente trifásica, se hace la conexión desfasada (equivocando el orden de conexión de sus fases) Verificar la rotación del rotor (sentido de las manecillas del reloj.) El impulsor deberá rotar en este mismo sentido visto desde arriba de la bomba. Podrá conocerse si trabaja en reversa, también por el exceso de amparaje y por la poca cantidad de líquido que bombearía. Invierta el orden de conexión de 2 de sus fases y corregirá el error.

7. En la serie LG es importante que la bomba trabaje sumergida completamente, así evitará calentamientos anormales y la pérdida de su garantía.

7.1.4. Instalación Hidráulica.

En serie LG: En este modelo la instalación es fija, se debe anclar el codo de descarga al fondo colocando tubos guía del codo hacia la parte superior del cárcamo para poder sacar o introducir la bomba sin necesidad de descender al interior de él (fig. 7.2)

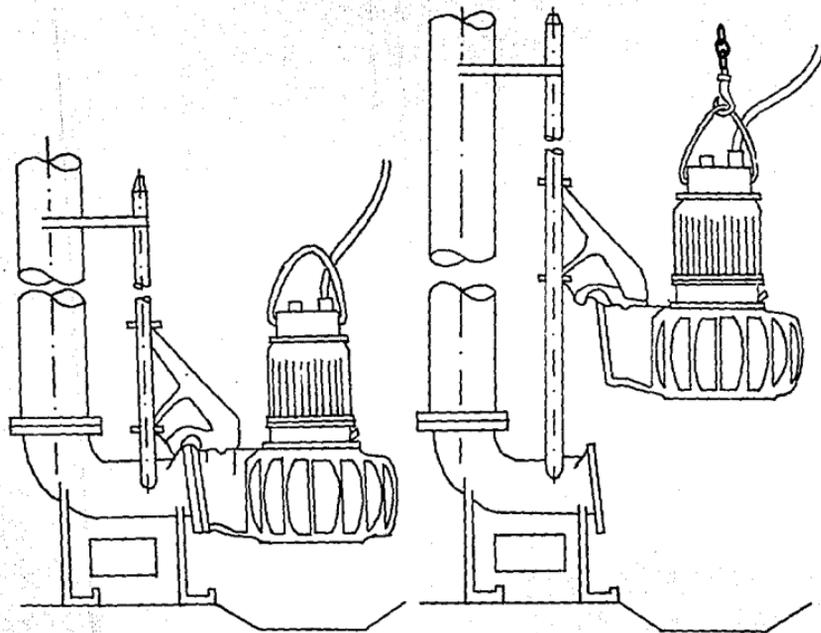


Fig. 7.2 Instalaci3n Hidr3ulica

7.1.5. Mantenimiento

a) Pintura.

Es necesario proteger su exterior pintando la bomba periódicamente con pintura epoxianticorrosiva. (14)

b) Aislamiento del circuito Eléctrico

Verifique periódicamente que el aislamiento de resistencia eléctrica siga siendo 1 megaohm y que el voltaje sea de 220 volts en las bombas trifásicas. Verifique lo especificado en la placa de identificación,

c) Tierra.

Verifique que la tierra esté haciendo buen contacto para evitar un corto circuito en el interior del motor.

d) Nivel de aceite.

1. Para los modelos LG 22 y 24 se deberá colocar la bomba en posición horizontal con los tornillos de purga hacia arriba, el nivel deberá estar a 15 mm. abajo de la rosca de los tornillos.

Para los modelos LG 5, 10, 15, 20, 30, 75 y 100 la bomba deberá estar en posición vertical, cerciorándose de que el nivel de aceite no esté más abajo del tornillo rebosadero de aceite; añadir si es necesario.

Se recomienda verificar el estado del aceite como indicador de desgaste de los sellos.

Nunca llene la cámara de aceite, pues la temperatura y fricción provocará que el aceite se dilate y expanda dañando los sellos y empaques.

2. Aceites Recomendables

Bombas Serie LG:

DTE OIL NO. 25 (Mobil Oil)

TURBINE OIL MEDIUM (Quaker State)

e) Desgaste del impulsor.

f) Verificar si se ha introducido agua en el motor, de ser necesario remitirlo al fabricante o distribuidor autorizado.

g) Hacer pruebas de presión y revisar fugas (no presurizar a más de 2 Kg/cm^2). Es necesario cambiar la totalidad del aceite una vez por año, ya que el tiempo altera las características lubricantes del mismo. Para conocer mejor su bomba analice la tabla 7.1 "Causas y Efectos".

7.2. BOMBAS VERTICALES TIPO TURBINA.

7.2.1. Instrucciones de Mantenimiento General.

La frecuencia para revisiones completas en el cuerpo de tazones

EFFECTO CAUSA	DECRECE LA DESCARGA	INCREMENTA LA DESCARGA	NULA LA DESCARGA	DECRECEN LOS EFECTOS DE AISLAMIENTO ELECTRICO	INCREMENTO DEL FLUJO DE CORRIENTE ELECTRICA	BOMBEO SE SUSPENDE POR EL DISPOSITIVO DE PROTECCION DEL MOTOR
1. COLUMNA DE BOMBEO MUY ALTA	X		X			
2. COLUMNA DE BOMBEO MUY BAJA		X				
3. REDUCCION DE VOLTAJE	X				X	X
4. MOTOR TRIFASICO CONEC- TADO A UNA SOLA FASE			X		X	X
5. REVOLUCIONES A LA INVERSA	X		X		X	
6. BLOQUEO DE SUCCION DE LA BOMBA	X		X			
7. IMPULSOR DESGASTADO	X		X			
8. IMPULSOR OBSTRUIDO	X		X		X	
9. CARCAZA DESGASTADA	X		X			
10. BALEROS DESGASTADOS					X	
11. FILTRACION DE AGUA A TRAVES DE LOS SELLOS				X		X

TABLA 7.1 "CAUSAS Y EFECTOS " DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES

(lugar en el cual se encuentra ubicado un impulsor) depende del número de horas en operación acumuladas, la severidad de las condiciones de servicio, y el cuidado que se haya tenido en la bomba durante la operación. El cuerpo de tazones normalmente no debe ser sacado para inspección a menos que sea una indicación definida o se vea mal funcionamiento en la bomba. Evidentemente el mal funcionamiento interior generalmente se nota en la reducción de la capacidad o presión, o un significativo cambio en la vibración o sonido durante su funcionamiento. (15)

7.2.2. Desensamblable.

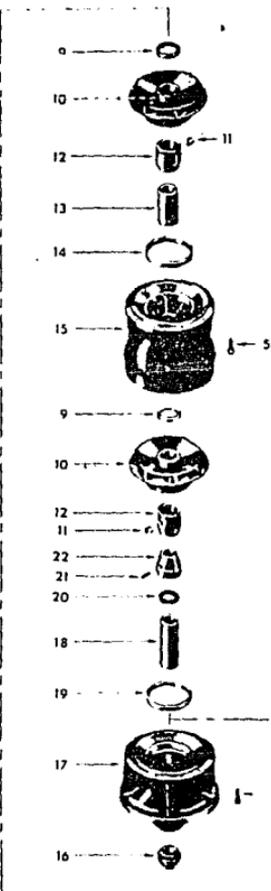
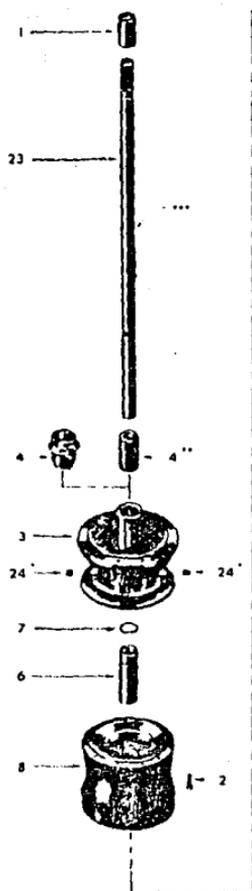
El desensamblable del cuerpo de tazones debe ser efectuado en una área limpia con suficiente espacio para colocar todas las partes en el orden en que se vayan quitando. La figura 7.3 ilustra los componentes de un cuerpo de tazones indicando el orden en que son quitados durante el desensamblable.

Proceder como sigue:

a.1. Coloque el cuerpo de tazones en posición horizontal y coloque bajo el tazón superior un bloque de salida.

a.2. Quitar el cople de la flecha (1) por medio de una llave.

a.3. Quitar los tornillos (2) que conectan el cono de salida (3) y el tazón superior y deslice el cono de salida hacia afuera de la flecha.



- 1 Cople de Flecha.
- 2 Tornillos.
- 3 Cono de Salida.
- 4 Chumacera de conexión.
- 5 Tornillos.
- 6 Chumacera del Tazón Sup.
- 7 Anillo de Sello "O".
- 8 Tazón Superior.
- 9 Tuercas del buje de Imp
- 10 Impulsor.
- 11 Perno del buje de impulsor.
- 12 Bujes de Impulsor.
- 13 Chumacera del Tazón.
- 14 Anillo de desgaste.
- 15 Tazón Intermedio.
- 16 Tapón cono de Entrada.
- 17 Campana de Succión.
- 18 Chumacera Cono de Entrada.
- 19 Anillo de desgaste.
- 20 Anillo de sello.
- 21 Prisionero.
- 22 Capacete.
- 23 Flecha de Impulsores.
- 24 Tapón.

- * Usada en bombas lubricadas por agua solamente.
- ** Usada en bombas lubricadas por aceite solamente.
- *** Para varios pasos se hacen los taladros para los pernos del buje a 180° alternados.

Fig. 7.3

VISTA DEL CUERPO DE TAZONES

Quitar la chumacera de conexión (4) del cono de salida desenroscándola del alojamiento de ésta.

a.4. Quitar los tornillos (5) que conectan el tazón superior (8) con el inmediato inferior y deslice el tazón hacia afuera de la flecha. La chumacera del tazón superior (6) y el anillo "O" (7), si se usa, deben quitarse del tazón.

a.5. Desenroscar la tuerca del buje del impulsor (9) y deslícelo hacia afuera de la flecha.

a.6. Soltar el impulsor (10) y deslizarlo hacia afuera de la flecha.

NOTA: En el centro del perno del buje de impulsor (11) lleva un taladro roscado para ayudar a quitarlo.

a.7. Insertar un tornillo en el centro del perno del buje del impulsor (11) girándolo de tal manera de removerlo para quitarlo. Deslizar el buje del impulsor sacándolo de la flecha.

a.8. Quitar los tornillos (5) que conectan con el tazón intermedio (15). Deslizar el tazón superior en la flecha para sacarlo. El buje del tazón y el anillo de desgaste van fijos a presión en el tazón.

a.9. Repita los pasos desde a5 hasta a8 hasta que todos los tazones hayan sido removidos.

a.10. Quitar el tapón del cono de entrada y deslice éste en la parte inferior de la flecha, hacia afuera. El buje del cono de entrada (18), el anillo de desgaste (19) y el sello (20) se sacarán del cono de entrada.

a.11. Aflojar los prisioneros (21) y deslizar hacia afuera el capote del cono de entrada (22) por la parte inferior de la flecha. (23)

7.2.3. Inspección y Limpieza:

Después del desensamble, todos los componentes del cuerpo de tazones deberán ser limpiados cuidadosamente y examinados los defectos físicos. Examine los impulsores para ver si hay señales de fricción o astilladuras. Compruebe las dimensiones dadas en la tabla 7.2. y verifique que la parte checada está dentro de las tolerancias.

7.2.4. Reemplazo.

Las partes que muestra grietas o hendiduras o señales de desgaste excesivo deben ser reemplazadas. Si las flechas, impulsores, anillos de desgaste o piezas de hierro fundido parecen estar sujetas a corrosión excesiva a causa de impurezas o acción química en los líquidos bombeados, se recomienda consultar con los Ingenieros responsables o con los de la fábrica proveedora.

TAMAÑO DE LA BOMBA	20	22	24	26	28 H	28 HH
Diám.Ext.Flecha de Imps. MAX.	2.2500	2.250	2.750	3.500	3.250	4.000
MIN.	2,247	2.247	2,747	3.497	3.247	3.997
Diám.Int. Chum Cono de - MAX	2,2645	2,2645	2,767	2,5135	3,268	3,0175
Entrada (D,de colocado) MIN.	2,2585	2,2585	2,760	3,5080	3,261	3,0105
Diám.Int. chum,de Tazones MAX.	2,2645	2,2645	2,767	2,5135	3,268	4,010
(después de colocados). MIN.	2,2585	2,2585	2,760	3,5080	3,261	4,008
Juego de la flecha M			0,75	0,50		
Juego de la flecha H	0,68		0,75		0,80	
Juego de la flecha HH	0,75					1,50
Diám.sello del Impulsor H	10,127		12,162		14,980	
Diám.sello del Impulsor M			11,200	12,722		
Diám.sello del Impulsor HH		13,105				17,733
Diám,del anillo de Desg. M			11,218	12,740		
Diám, del anillo de Desg. H	10,145		12,178		15,000	
Diám,del anillo de Desg. HH		13,125				17,750

Figura 7.2 TABLA DE DIMENSIONES NOMINALES DE TOLERANCIAS.

7.2.5. Chumaceras.

Las chumaceras del cono de entrada y los tazones son insertados a presión dentro de los respectivos alojamientos con un ajuste de 0.966 mm.. las Chumaceras desgastadas pueden ser sacadas a presión o maquinarse en su diámetro interior hasta dejar una pared muy delgada de tal manera que pueda quitarse con las manos. La chumacera de reemplazo debe ser insertada a presión en su alojamiento. Después de instalada verificar el diámetro interior y el diámetro exterior de la flecha de impulsores, (ver tabla 7.2). Si el claro no está dentro de la tolerancia, el diámetro interior de la chumacera debe ser maquinado.

7.2.6. Anillos de Desgaste.

Los anillos de desgaste son insertados a presión en sus respectivos alojamientos. Los anillos desgastados pueden ser quitados maquinando el diámetro interior hasta tener una pared muy delgada de tal manera que se pueda quitar con la mano. El anillo de desgaste de reemplazo debe ser insertado en su alojamiento a presión. Después de instalado verificar el diámetro exterior del impulsor (ver tabla 7.2). Si el claro no está dentro de la tolerancia el diámetro interior del anillo de desgaste debe ser maquinado.

NOTA: Los conos de entrada y los tazones de reemplazo vienen equipados con chumaceras y anillos de desgaste con dimensiones estandar y no necesitan maquinarse.

7.2.7. Lubricación.

Lubricar todas las chumareras metálicas con grasa limpia o aceite cuando los tazones estén desarmados. Limpie el exceso de lubricante y pinte todas las superficies maquinadas con un buen compuesto anticorrosivo.

7.2.8. Ensamble.

El Ensamble de la unidad es esencialmente al revés del desensamble, Ver figura 7.3 y proceda como sigue:

b.1. Roscar el tapón (15) en el cono de entrada o campana de succión (16).

b.2. Inserte la flecha de impulsores dentro del cono de entrada a tope.

b.3. Deslizar el anillo de sello (19) en la flecha con la parte plana hacia abajo y sentarlo firmemente sobre la chumacera del cono de entrada.

b.4. Deslizar el capacete (21) con la flecha hacia el cono de entrada girándolo suavemente en el sello para que quede bien colocado este en su alojamiento, entonces apretar los prisioneros (20).

b.5. Deslizar el buje del impulsor en la flecha hacia el cono de entrada, alinearlos en el taladro para el perno del buje de impulsor (11). Inserte éste en su alojamiento. Empujar el buje hasta que el perno no sobresalga.

b.6. Deslizar el impulsor (10) en la flecha, hasta insertarlo en el buje lo más profundo posible a mano.

b.7. Deslizar el buje de impulsor (2) en la flecha y roscarlo en la parte roscada del buje. Usando una llave apriete firmemente la tuerca.

b.8. Deslizar el tazón (8) en la flecha y alinear las costillas con las del cono de entrada.

b.9. Insertar y apretar los tornillos. (5)

b.10. Repetir los pasos hasta que todos los tazones estén en su lugar.

b.11. Deslizar el cono de salida (3) en la flecha y alinear las costillas con el tazón adjunto.

b.12. Insertar y apretar uniformemente los tornillos.

b.13. Quitar el tapón (15) del cono de entrada e inyectar grasa insoluble de buen grado.

b.14. Empuje y jale la flecha varias veces para quitar el exceso de grasa.

b.15. Quitar el exceso de grasa e insertar roscando el tazón del cono de entrada.

NOTA: Después que el cuerpo de tazones esté ensamblado nuevamente comprobar el juego de la flecha y comparar contra la lectura obtenida en la nota después del paso a.1. El juego está listado en las dimensiones nominales de la tabla 7.2.

7.2.9. Precaución.

Los tapones en el cono de salida son usados solamente en las bombas lubricadas por agua y en bombas lubricadas por aceites especiales para alta presión. NO USAR TAPONES EN BOMBAS LUBRICADAS POR ACEITE ESTANDARD.

7.3. Fallas en los Motores. (16)

7.3.1. El motor no quiere arrancar

1. Una fase abierta; puede ser un fusible quemado o un mal contacto.
2. El rotor roza en el estator; los rodamientos pueden estar desgastados.

3. Abertura en el embobinado del estator, el interruptor o el arrancador.

4. Bajo par de arranque: verificar el voltaje.

5. Fricción excesiva en la máquina (a la que impulsa) o en los rodamientos de la flecha; reparación, lubricación, verificación del ajuste de las bandas.

6. Embobinado conectado en estrella en lugar de delta, o en serie en lugar de paralelo. El resultado es bajo voltaje entre las terminales por fase.

7.3.2. Sobre calentamiento de la armazón del motor.

1. Sobrecarga originada por aumento de carga, falla en la máquina impulsada, rodamientos apretados.

2. Bajo voltaje de alimentación.

3. Embobinado mal conectado.

4. Unas cuantas espiras del embobinado tienen corto.

5. Tierra de alta resistencia en el embobinado.

7.3.3. El motor vibra.

1. montaje inseguro
2. Alimentación deficiente.
3. Rotor fuera del balance.
4. La polea o cople fuera de balance.
5. Embobinado con corto parcial; verificar el balance de corriente.
6. Bobina o grupo de bobinas invertidas en el embobinado del estator.

Quando hay bobinas invertidas el motor hará mucho ruido.

7. Conexiones terminales deficientes en el embobinado del estator o mal contacto en el anillo de corto circuito.

7.3.4. Calentamiento en los cojinetes de bolas.

1. Holgura insuficiente en el cojinete.
2. Exceso de grasa.
3. Grasa de mala calidad.

7.3.5. Cojinetes de Bolas Ruidosos.

1. Cojinete desgastado; reemplazarlo.
2. Bola achatada o lastimada; cambiar el cojinete.
3. Caja o pista fracturada; cambiar el cojinete.
4. Pista interna floja en la flecha; metalizar la flecha y maquinarla para dar el ajuste correcto.
5. La pista externa gira en el receptáculo; perforar y encasquillar el sujetador del extremo o hacer la reconstrucción para que ajuste a la pista exterior de un nuevo cojinete.

7.4. Fallas en el compresor (16)

7.4.1. Presión muy baja.

1. Fugas excesivas en tubos, conexiones y válvulas para aire.
2. Pistón y anillos gastados.
3. Demanda mayor que la capacidad del compresor.
4. Velocidad incorrecta.

7.4.2. EL compresor sobrecarga el motor.

- 1. Tubo de entrega restringido.**
- 2. Aceite insuficiente.**
- 3. Fugas por tubos de control.**
- 4. Interruptor deficiente o válvula de emergencia graduada para corte a presión muy alta.**
- 5. Banda demasiado apretada.**
- 6. Compresor o motor trabados.**
- 7. Características eléctricas incorrectas.**
- 8. Voltaje muy bajo.**
- 9. Presión de entrega muy alta.**
- 10. Velocidad incorrecta.**

7.4.3. Capacidad Insuficiente

1. Tubo de succión obstruido; filtro sucio.
2. Descargadores de succión pegados en la posición de descarga.
3. Fugas excesivas en tubos, conexiones y válvulas para aire.
4. Válvula mal instalada.
5. Junta de la cabeza del cilindro rota.
6. Deslizamiento de la banda.
7. Demanda mayor que la capacidad del compresor.

7.4.4. Sobrecalentamiento del compresor.

1. Tubo de succión obstruido; filtro sucio.
2. Aceite Insuficiente.
3. Fugas por tubos de control.
4. Sentido incorrecto de rotación.

5. Válvulas rotas.

7.4.5. Golpeteo del compresor.

1. Válvula floja.

2. Aceite insuficiente.

3. Válvulas mal instaladas.

4. Volante o polea flojos.

5. Cojines principales necesitan ajuste.

6. Holgura excesiva de cojinetes de biela.

7.4.6. Vibración del compresor

1. Tubos mal soportados.

2. Montaje desnivelado.

3. La unidad no está bien sujeta en los cimientos.

4. Cimentación deficiente.

5. Rotor del motor desbalanceado.

7.4.7. Se funden los fusibles.

1. Tubo de entrega, restringido.
2. Aceite insuficiente.
3. Diferencia muy reducida en el interruptor de presión.
4. Compresor o motor trabado.
5. Fusibles de capacidad limitada
6. Características eléctricas incorrectas.
7. la unidad arranca contra plena carga.

7.4.8. Consumo excesivo de aceite.

1. Tubo de succión obstruido; filtro sucio
2. Nivel de aceite muy alto.

3. Aceite poco viscoso.

4. Presión de aceite muy alta (si es de lubricación a presión).

5. Pistón y anillos gastados.

7.5. FALLAS DE LA BOMBA DE TURBINA. (POSIBLES CAUSAS DEL PROBLEMA Y SU SOLUCION) (16)

7.5.1. La bomba no arranca.

1. Impulsores bloqueados: Probar subiendo y bajando los impulsores por medio de la tuerca de ajuste. Esto puede dejarlos libres. Si no es así haga un retrolavado con agua limpia, trate de darle vuelta a la flecha en la parte superior con una llave. Hay que hacerlo con cuidado para no dañar la flecha. Si no puede librar así a los impulsores hay que desmontar la bomba y tratar de llegar a las partes giratorias.

2. Basura dentro del tubo de revestimiento: trazo, piedras, madera o metal trabados en la bomba pueden impedir que esta gire.

3. Corrosión: Las bombas que estén fuera de servicio durante períodos prolongados pueden llegar a trabarse. Use un ácido para remover las materias corroidas.

4. Demasiada fricción en la chumacera: Use el aceite correcto consultando el grado de viscosidad.

5. Falla en el motor: Hay que verificar el interruptor de circuito a los fusibles para ver si hay una conexión abierta.

Si la sobrecarga en el arrancador ha botado los relevadores hay que restablecer. Se desconecta el motor de la bomba y se ve si arranca.

6. Los impulsores no ajustan adecuadamente: Colóquelo lo suficientemente elevados, a fin de que haya espacio para el corrimiento de la flecha producido por el empuje hidráulico. El ajuste debe permitir que la flecha gire libremente; entonces el corrimiento causado por el peso de la flecha y el rotor no hará que se pegue la bomba.

7.5.2. La bomba no arroja agua.

1. Rotación equivocada: cambie la rotación del motor. En caso de ser un motor trifásico cambie entre si dos puntas cualesquiera.

2. Velocidad demasiado baja: Hay que verificar el voltaje y la frecuencia de la fuente de alimentación. Vea si la fricción en la chumacera es excesiva ya que ésta y la corrosión o la obstrucción en el impulsor hacen lenta la bomba.

3. Fallas en las partes de la bomba: Hay que ver si está rota la

flecha o las conchas o carcasa de la bomba o si están flojas las juntas de la columna de tubos. Hay que apretar todos los impulsores.

4. Carga de bombeo demasiado grande: Observe que estén abiertas las válvulas de descarga y que no estén pagadas las válvulas de retención. Si ha descendido el nivel del agua, la carga de succión puede ser demasiada. Aumente el tamaño de la línea de descarga o reduzca la presión de descarga.

7.5.3. La bomba consume demasiada energía

1. Bomba no adecuada para el trabajo: Estudie las curvas de rendimiento. Si no puede reducirse la demanda de energía, probablemente haya que instalar un motor de mayor tamaño.

2. Empaque apretado: Ajuste para que haya suficiente filtración lubricando así la flecha.

3. Otras causas: Revise si existe desalineamiento, las chumaceras están muy ajustadas o existe vibración en la bomba o las tuberías. Revise si no es excesiva la presión de descarga.

7.5.4. Baja capacidad de la bomba.

1. Desgaste del impulsor: La pérdida de metal de las orillas de las aletas del impulsor hacen bajar la capacidad. La pérdida en el inte-

rior o en el extremo de succión no tiene mucho efecto. Si los impulsores totalmente encerrados tienen el desgaste normal en los anillos de desgaste, el problema puede estar en ellos. Vea si la holgura que existe es excesiva.

Con los impulsores semiabiertos que no tienen fondo con cubierta o aro de refuerzo o anillos de desgaste, usted necesita reducir la holgura en la parte inferior de las aletas.

2. Carga de la bomba demasiado grande: Conforme se aumenta la carga sobre la bomba su salida va disminuyendo. Vea si hay tubos obstruidos, válvulas cerradas u otras obstrucciones que pueden aumentar la carga.

3. Fugas: Las aberturas en el tubo, en las juntas roscadas o con brida pueden producir pérdidas de agua. Lo mismo puede afirmarse de las juntas y los empaques. Revise que no haya agujeros en la carcasa, en la columna de tubos o en el cabezal.

7.5.5 Demasiada vibración.

1. Problemas en las chumaceras: Verifique su aceite o grasa de lubricación en cantidad y calidad. Vea que la bomba esté alineada apropiadamente.

2. Operación ruda: observe que el impulsor y los pasajes en la carcasa estén libres de madera, trapos y otros materiales que pueden sacar

a la bomba de balance. También hay que revisar el motor desconectado de la bomba y haciéndolo trabajar solo. Vea si no hay mucho desgaste en las partes giratorias.

7.6. FALLAS EN LAS BOMBAS SUMERGIBLES (PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTA EN LAS BOMBAS SUMERGIBLES) (16)

7.6.1. Fallas en la flecha de la bomba.

1. Desalineación o mala instalación.
2. Agrietamiento progresivo (Vibración o corrosión)
3. Objetos extraños.

7.6.2. Fallas en los cojinetes.

1. Pérdida o contaminación del lubricante.
2. Pérdida de succión en la bomba.
3. Desalineación.
4. Cojinetes defectuosos.

7.6.3. Daños Internos en la Bomba

1. Pérdida de succión.
2. Objetos extraños.

7.6.4. Falla en el suministro del líquido.

1. Rotación con dirección equivocada.
2. La carga neta de succión positiva disponible (NPSH) no es suficientemente alta.
3. La bomba no alcanza la velocidad nominal.
4. La carga total mayor que la carga para la que está diseñada la bomba.

7.6.5. La bomba no proporciona la capacidad nominal.

1. Dirección equivocada de rotación.
2. No es suficiente la NPSH disponible
3. La bomba no alcanza la velocidad nominal.
4. La viscosidad del líquido es mayor que la del líquido para el que está diseñada la bomba.
5. Defectos mecánicos, tales como anillos desgastados, impulsor dañado o desgastado.

7.6.6. Baja presión en la descarga de la bomba.

1. La bomba no alcanza la velocidad nominal.
2. Presión de descarga mayor que la necesaria que aquella para la que está diseñada la bomba.
3. Líquido más espeso que aquel para el que se diseñó la bomba.
4. Rotación equivocada.
5. Defectos mecánicos, tales como anillos de desgaste desgastados, impulsor gastado.

7.6.7. La bomba sobrecarga el motor.

1. Velocidad demasiado alta.
2. Carga total inferior a la carga nominal.
3. Defectos mecánicos, tales como desalineación, rozan los elementos giratorios, sellos demasiado apretados.

7.6.8. Vibración.

1. Mala alimentación.
2. Cojinetes gastados o flojos.
3. Rotor fuera de balance debido a que el impulso esta dañado o tapado.
4. Válvula de control en la línea de desgarga mal colocada.
5. Cimiento no rígido.

7.6.9. Sobrecalentamiento en los cojinetes.

1. Suciedad en los cojinetes.
2. Humedad en el aceite
3. Alguna falla en el sistema de lubricación.
4. Cojinetes demasiado apretados
5. Los sellos de aceite demasiado apretados a la fecha
6. Mala alineación.

7.6.10. Los cojinetes se desgastan rápidamente.

1. Mala alineación
2. Vibración
3. Empuje excesivo como resultado de una falla mecánica
4. Falta de lubricación
5. Cojinete inadecuadamente instalados
6. Cojinetes sucios.
7. Húmedad en el aceite

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados de la etapa experimental se concluye que la falta de capacidad de los equipos se debe a que estos se encuentran trabajando con un voltaje menor al nominal. Asimismo, de acuerdo con mediciones de voltaje, se puede concluir que el origen del problema se localiza en la subestación eléctrica. La capacidad de la subestación no se puede modificar manualmente ya que el dispositivo para este fin se encuentra a su máxima capacidad, situación que confirma la hipótesis planteada. La prueba final para determinar si la subestación es el problema, consiste en medir si la acometida general proporciona la carga necesaria. Esto se realiza midiendo la carga en el primario de la Subestación sin embargo esta es una prueba que requiere equipo y personal especializado por lo que no fue posible realizarla en este estudio.

Se recomienda por lo tanto efectuar esta medición y en caso de que se compruebe la anomalía de la subestación, es necesario su corrección, preferentemente a través del fabricante.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Apuntes de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
- 2) Técnica y Obras de Ingeniería Sanitaria, Editores Técnicos. Asociados, Barcelona 1970.
- 3) Ingeniería Sanitaria, W.A. Hardenberg, Ed. Continental México 1966.
- 4) Biological Process Design for Wastewater Treatment, Benefield Randall, Prendice - Hall.
- 5) Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Ed. Departamento de Sanidad del Estado de New York 1969.
- 6) Water Supply and Pollution Control, John W. Clark / Warren Viessman Jr. Third Edition Harper R. Row. Publishers.
- 7) Manual del Ingeniero Mecánico, Marks, Octava Edición Ed. Mc. Graw Hill Vol. 3 México 1986.
- 8) Bombas Centrífugas Selección, Operación y Mantenimiento Igor Karassik Ed. Continental México 1966.
- 9) Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones, Viejo Zubicaray Ed. Limusa Wiley México 1972.
- 10) Selección y Operación de Bombas de Agua y Sistemas de Bombeo Ing. Francisco López Rivas, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
- 11) La Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria, Blanca E. Jiménez C. Julio 1986.

- 12) Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Claudio Mataix, Ed. Harla, México 1970.
- 13) Manual de Mantenimiento Bombas Sumergibles IMPELSA.
- 14) Manual de Mantenimiento Bombas Sumergibles Sakuragawa Industrias Lopraiza S.A.
- 15) Manual de Mantenimiento Bombas Verticales Tipo Turbina Worthington.
- 16) Guía Práctica para Reparación y Mantenimiento ELONKA Vol. 1 y 2 Mc. Graw Hill México 1987.