

300617

36

2er



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U. N. A. M.

DISEÑO Y SELECCION DE UN SISTEMA
DE BOMBEO Y LINEA DE CONDUCCION
POR TUBERIA DE LA RECIRCULACION
DE LODOS ACTIVADOS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
MAURICIO MERCADO SANTAMARIA

ASESOR DE TESIS

ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ

MEXICO, D. F.
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1993



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.-DESCRIPCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.	1
1.1.- Definición de una planta de tratamiento de aguas residuales.	1
1.2.- Etapas de los procesos en una planta de tratamiento de aguas residuales.	1
1.2.1.- Pretratamiento de aguas residuales.	3
1.2.2.- Tratamiento primario de las aguas residuales.	6
1.2.3.- tratamiento secundario de las aguas residuales.	10
1.2.4.- tratamiento avanzado en la depuración de aguas residuales.	12
CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL SISTEMA DE BOMBEO EMPLEADO EN LA RECIRCULACION DE LOS LODOS ACTIVADOS.	16
2.1.- Tratamiento de lodos activados en la depuración de aguas residuales.	16
2.1.1.- Características de los lodos activados.	16
2.1.2.- Mecánica del proceso de lodos activados.	17
2.2.- Importancia del proceso de recirculación en el tratamiento de lodos activados.	18
2.3.- Captación de los lodos en los sedimentadores.	18
2.4.- Cárcamo de lodos.	21
2.5.- Arreglos típicos de bombas en cárcamos.	22
2.6.- Descarga de los lodos activados.	23
CAPITULO III.- PRESELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO.	27
3.1.- Generalidades.	27
3.2.- Restricciones aplicadas al equipo de bombeo.	27

3.3.- Comparación de tres bombas aptas para la recirculación en el sistema de lodos activados.	27
3.4.- Conclusión.	41
CAPITULO IV.- DISEÑO Y CALCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CARCAMO DE LODOS.	42
4.1.- Generalidades.	42
4.2.- Cárcamos empleados para el almacenamiento de lodos.	42
4.3.- Soporte teórico del dimensionamiento del cárcamo.	42
4.4.- Descripción del cálculo.	46
4.5.- Cálculo del cárcamo de lodos.	46
4.5.1.- Parámetros de diseño.	46
4.5.2.- Cálculo del diámetro del cárcamo de lodos.	46
4.5.3.- Cálculo de la altura del cárcamo de lodos.	47
4.5.4.- Cálculo del volumen donde van a estar operando las bombas.	47
4.5.5.- Cálculo del tirante útil del cárcamo.	48
4.6.- Niveles de paro y arranque de las bombas.	48
4.7.- Simbología del dimensionamiento del cárcamo.	48
CAPITULO V.- DISEÑO Y SELECCION DE LA LINEA DE CONDUCCION.	51
5.1.- Generalidades.	51
5.2.- Descripción de la línea de conducción.	51
5.2.1.- Descripción de la succión.	51
5.2.2.- Descripción de la descarga de la línea de conducción.	53
5.3.- Restricciones al cálculo y diseño de la línea de conducción de los lodos activados.	55
5.4.- Soporte teórico del cálculo de la línea de conducción.	55

5.5.- Descripción del cálculo de la línea de conducción.	57
5.6.- Parámetros de diseño.	57
5.7.- Cálculo del diámetro de la línea de conducción.	57
5.7.1.- Cálculo del diámetro del múltiple de descarga.	57
5.7.2.- Cálculo del diámetro de la tubería de descarga hacia los tanques de aeración.	58
5.8.- Cálculo de la cédula de las tuberías de la línea de conducción.	59
5.8.1.- Cálculo de la cédula de la tubería de 16 pulgadas de diámetro.	59
5.8.2.- Cálculo de la cédula de la tubería de 8 pulgadas de diámetro.	60
5.9.- Elementos de control y protección en la conexión de bombas.	62
CAPITULO VI.- CALCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO.	70
6.1.- Generalidades.	70
6.2.- Soporte teórico para el cálculo del equipo de bombeo.	70
6.2.1.- Presión.	70
6.2.2.- Columna o carga total de bombeo.	74
6.2.3.- Carga Neta de Succión Positiva.	80
6.2.4.- Otros términos.	84
6.2.5.- Ecuación General de Energía (Teorema de Bernoulli).	85
6.2.6.- Ecuaciones para el flujo de fluidos en conductos a presión.	87
6.3.- Procedimiento de cálculo del equipo de bombeo.	92
6.4.- Parámetros de diseño.	102
6.5.- Cálculo de pérdidas de carga en la succión por rozamiento (TRAMO 1, 2 y 3 de la fig 6.8).	104

6.6.- Cálculo de las pérdidas de carga en la descarga por rozamiento.	107
6.7.- Cuadro de flujos del sistema de recirculación de los lodos activados.	120
6.8.- Cálculo de la potencia de la bomba.	121
6.8.1.- Parámetros de diseño o márgenes de seguridad.	122
6.9.- Análisis de la CNSP (Carga Neta de Succión Positiva)	124
CAPITULO VII.- MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE LOS LODOS ACTIVADOS.	126
7.1.- Generalidades.	126
7.2.- Mantenimiento preventivo.	126
7.2.1.- Guías de mantenimiento preventivo.	126
7.3.- Mantenimiento correctivo.	127
7.4.- Componentes del sistema de lodos activados que necesitan mantenimiento.	127
7.4.1.- Acciones de mantenimiento que requieren las bombas.	128
7.4.2.- Acciones de mantenimiento que requieren los motores eléctricos.	131
7.4.3.- Mantenimiento general de las válvulas.	131
7.4.3.1.- Reacondicionamiento de las válvulas como mantenimiento correctivo.	132
7.5.- Presentación y preparación de reportes de mantenimiento.	134
7.5.1.- Ficha de mantenimiento preventivo.	134
7.5.2.- Bitácora de operación.	136
CAPITULO VIII.- ESTUDIO ECONOMICO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE LOS LODOS ACTIVADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.	138
8.1.- Generalidades.	138
8.2.- Costos.	139

8.3.- Costos de operación.	143
8.3.1.- Costos de operación.	143
8.4.- Costo anualizado de la inversión.	144
-Glosario.	145
-CONCLUSIONES.	146
-BIBLIOGRAFIA.	148

I N T R O D U C C I O N .

Los problemas de agua en algunas poblaciones de la Ciudad de México para abastecimiento de los ciudadanos cada vez es más carente, y cada vez más solicitada por el continuo crecimiento de las grandes urbes, este problema ha planteado soluciones como la utilización del agua residual depurándola por medio de plantas de tratamiento de agua residual para retornar al agua en potable, o por lo menos en agua utilizable para riego, ya que cada vez es más costoso traer el agua de lugares lejanos a las grandes ciudades para abastecer a las poblaciones.

En el gobierno se han dado un cambio que se debe mencionar de los organismos que rigen el control del agua en México, dicho cambio es:

SEDUE cambió a SEDESOL.

SEDUE.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

SEDESOL.- Secretaría de Desarrollo Social.

El objetivo de este tratado, es el de dar a conocer someramente los procedimientos de depuración del agua residual, y como principal tema el conocer el sistema de recirculación de los lodos activados y su gran importancia en el desarrollo de la depuración parcial de las aguas por medio del proceso de lodos activados, dar una idea del cálculo, construcción y equipos a emplear del sistema de recirculación de los lodos activados y los costos que implica este sistema en particular.

El contenido de este tratado en el Capítulo I comienza con los diferentes tipos de sistemas para depurar el agua residual, equipos que la depuran parcialmente, hasta equipos que la depuran totalmente, continua en el Capítulo II, con una descripción de la depuración del agua residual por medio del proceso de lodos activados y el lugar donde se utiliza la recirculación de los lodos activados; en el Capítulo III, se analiza una selección técnica-económica de los tipos de equipos de bombeo que se utilizarán en la recirculación de los lodos activados, y se obtendrá el mejor equipo en base al estudio de las opciones presentadas; en el Capítulo IV, se realiza el cálculo del dimensionamiento del cárcamo de lodos activados para que el equipo de bombeo seleccionado funcione sin problemas; en el Capítulo V, se calculará la línea de conducción de los lodos activados para que ésta resista las condiciones de operación y no tenga problemas el sistema en la conducción de los lodos activados desde la succión hasta la descarga de los mismos; en el Capítulo VI, se desarrollará el cálculo de la potencia del equipo de bombeo para que cumpla sin problemas el traslado de los lodos activados hasta donde se necesiten; en el Capítulo VII, se dará una guía de mantenimiento preventivo y algunos datos de mantenimiento correctivo de todo el sistema, y por último en el Capítulo VIII, se realizará un estudio económico de todo el sistema de recirculación de los lodos activados así como los costos que implica la construcción y la operación de dicho sistema.

CAPITULO I.- DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

1.1.- Definición de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Una planta de tratamiento de aguas residuales es aquella que mediante procesos biológicos y químicos se encarga de depurar el agua de sustancias orgánicas e inorgánicas buscando que ésta retorne a un estado potable.

Una vez que termina el tratamiento es necesario disponer los líquidos y sólidos que se hayan separado.

1.2.- Etapas de los procesos en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Una planta de tratamiento de aguas residuales, en el proceso de depuración de las aguas, consta de varias etapas o niveles de tratamiento, estos niveles son el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

El pretratamiento, se realiza antes de la entrada del agua cruda a la planta, sirve para quitar las impurezas de gran tamaño como son ramas, troncos, plásticos, etc.

El tratamiento primario, sirve para quitar en pequeñas proporciones materia inorgánica en suspensión y materia orgánica en suspensión mediante procesos como son la flotación y la sedimentación de partículas, otro tipo de tratamiento primario es el tanque Imhoff y el proceso de neutralización.

El tratamiento secundario, remueve la mayor cantidad posible de materia orgánica en suspensión degradandola, así como una pequeña parte de la materia inorgánica en suspensión, los tratamientos secundarios son: lodos activados, filtros rociadores, lagunas, y sedimentación.

El tratamiento terciario o avanzado, remueve materia disuelta, ya sea de tipo orgánica o inorgánica mediante los procesos de coagulación y sedimentación, desmineralización, intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis, adsorción, filtración, coagulación y desinfección.

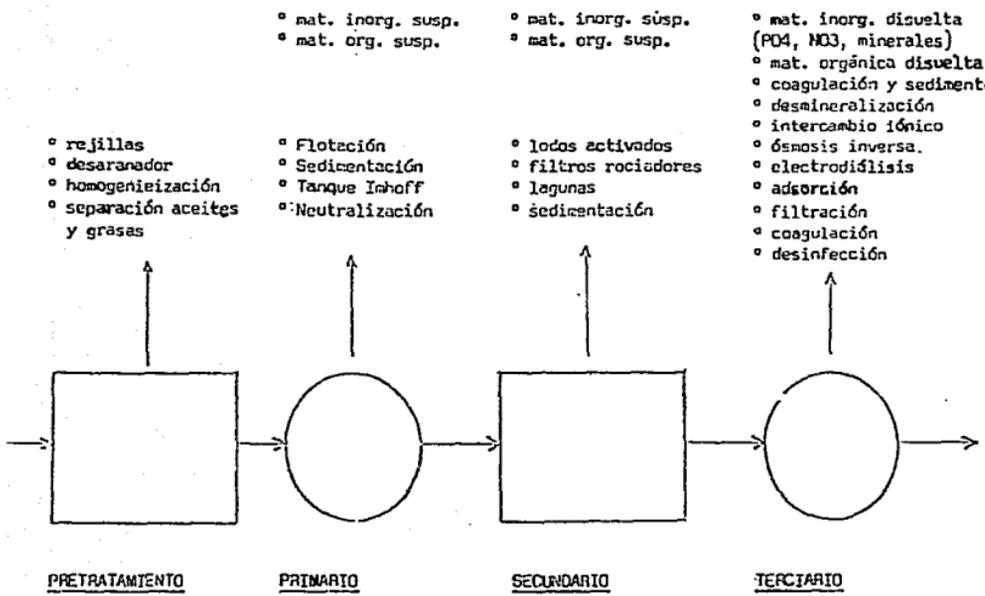


Fig. 1.1 PROCESO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS.

1.2.1.- Pretratamiento de aguas residuales.

a) CANAL PARSHAL.

Es un canal en el cual se mide la cantidad de agua residual que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales, se basa en el principio de medir el tirante crítico (ver fig. 1.2)

b) REJILLAS.

Son barras verticales o cribas a través de las cuales se hace pasar el agua residual para quitarle impurezas de tamaño considerable, como son trapos, papel, plásticos, metales y similares (ver fig. 1.3).

c) DESARENADOR.

El tanque desarenador es un canal de doble función, remover la arena del agua residual y separar la arena del material orgánico, la arena es removida por medio de sedimentación en estos canales (ver fig. 1.3).

d) HOMOGENEIZACIÓN.

Las plantas están diseñadas para que tanto el gasto como los contaminantes sean constantes para procesar el agua residual, las variaciones de estos parámetros influyen negativamente en la eficiencia de la depuración del agua residual, por lo tanto se necesita de un proceso para regularizar estos parámetros el cual es la homogeneización, este proceso se realiza por medio de un tanque en el cual se introducen desechos y contaminantes de acuerdo a las características del flujo, para así tener un proceso más homogéneo.

e) DESGRASADOR.

Se tienen varios métodos de desgrasamiento de las aguas residuales, por decantación, haciendo por cualquier medio la eliminación superficial de las grasas y aceites; Desgrasado con flotación de micro burbujas, se logra por medio de dispositivos colocados en la profundidad de los desarenadores y sedimentadores primarios por medio de burbujas de aire que suben a la superficie arrastrando consigo grasas y aceites, vertiéndose éstas al ser recolectadas en la superficie por algún mecanismo giratorio que los lleva y deposita en alguna tolva; El desgrasamiento con aire soplado, se aplica en la misma forma que la anterior, únicamente que aquí se usan dispositivos que inyecten aire en el fondo del tanque, para formar burbujas de aire y formar una emulsión que salga a la superficie del tanque, la forma de desgrasar en el sedimentador se ve en la figuras 2.2 y 2.3 con las rastras desnatadoras y la mampara para retención de natas.

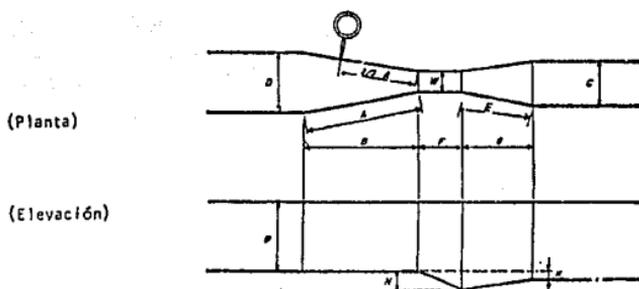
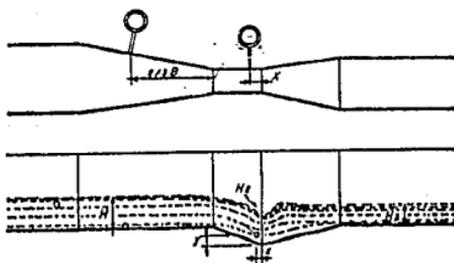


Fig. 1.2.- Medidor Parshall.



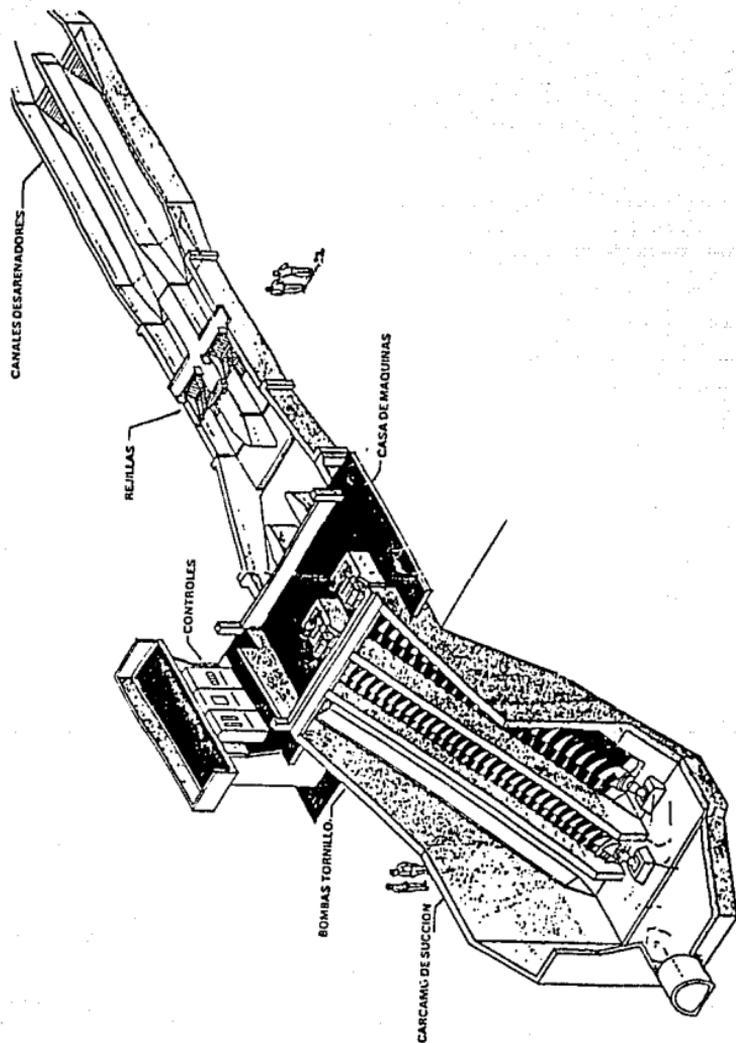


Fig 1.3 -Rejillas y canales desarenadores.

1.2.2.- Tratamiento primario de las aguas residuales.

a) FLOTACIÓN.

La flotación se aplica para partículas que no sedimentan fácilmente o que su velocidad de sedimentación es muy pequeña, por lo cual la separación de dichas partículas se acelera uniendo pequeñas burbujas de gas a las partículas, de tal manera que la densidad de la partícula compuesta (impureza más gas) sea apreciablemente menor que la del agua, así, la partícula flotará hacia la superficie donde serán eliminadas dichas partículas en forma de natas, la adición de las burbujas se realiza por inyección de aire comprimido a través de difusores en el agua, creando muchas pequeñas burbujas, o sobresaturando el agua con aire (ver figuras 1.4 y 1.5).

b) SEDIMENTACIÓN.

La sedimentación se realiza en el tanque sedimentador primario, y este proceso consiste en la separación de los sólidos suspendidos sedimentables por gravedad estos sólidos sedimentan en el fondo del tanque y son recolectados por rastras que barren dicho tanque en el fondo para después disponer de ese material como mejor convenga (ver figuras 2.2. y 2.3).

c) TANQUE IMHOFF.

Es un proceso anaerobio, el cual destruye los sólidos orgánicos (digestión), se lleva a cabo por bacterias estrictamente anaerobias. En este tanque, los sólidos que se sedimentan se deslizan al compartimiento de digestión sobre el falso fondo, muy inclinado; los gases y las natas digeridas se dirigen hacia los canales laterales, donde se evacúan; los lodos una vez digeridos se extraen por gravedad o por presión hidrostática (ver figura 1.6).

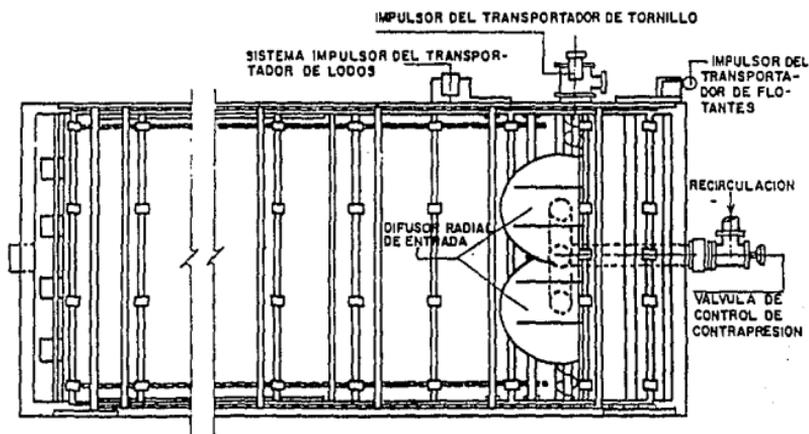
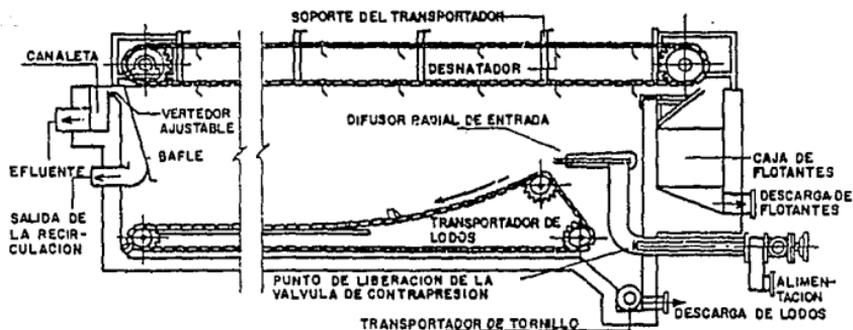


Fig. 1.4 Tanque de flotación rectangular.

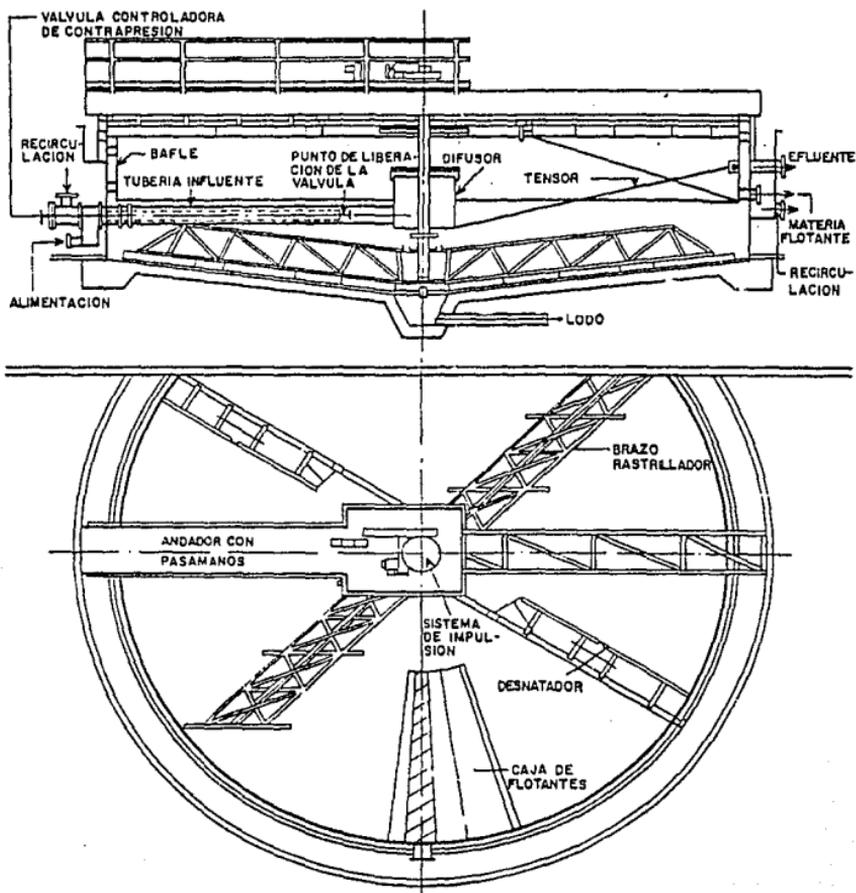


Fig.1.5 Tanque de flotación circular.

1.2.3.- Tratamiento secundario de las aguas residuales.

a) PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

El proceso de lodos activados consiste en la degradación de la materia orgánica la cual es utilizada por ciertos microorganismos adaptados a este propósito para utilizar la materia orgánica como sustrato o alimento en presencia de oxígeno y así transformar la materia orgánica en compuestos más simples.

Este proceso se lleva a cabo en un tanque aerado, donde los microorganismos metabolizan y biológicamente flocculan los compuestos orgánicos. Los microorganismos (lodos activados) son sedimentados en el sedimentador secundario y retornados al tanque de aeración como cultivo de bacterias, el agua libre de lodos activados es el líquido depurado por este proceso.

b) FILTROS ROCIADORES.

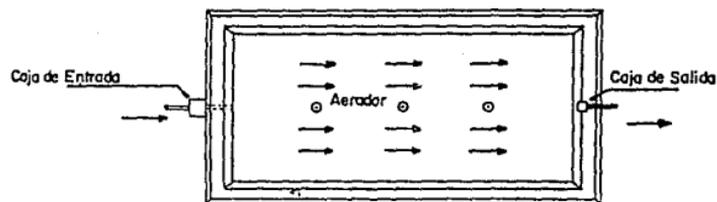
Consiste en reducir la materia orgánica existente percolando el líquido sobre microorganismos (bacterias) existentes en un medio compuesto por roca o plástico.

c) LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

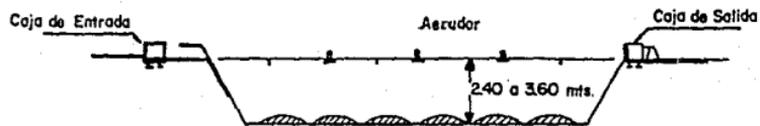
La laguna de estabilización utiliza el proceso biológico de depuración de aguas residuales, puede degradar la materia orgánica por medio de microorganismos aerobios como anaerobios, consiste en dejar el agua a reposar en un lugar donde se pueda estancar dicha agua, las lagunas pueden ser aeradas mecánicamente si así se requiere.

d) SEDIMENTACIÓN.

La sedimentación como tratamiento secundario tiene básicamente el mismo principio de la sedimentación primaria, salvo que el material a sedimentar ahora, es en su gran mayoría microorganismos que degradan la materia orgánica en forma de flóculos el cual se deposita en el fondo del tanque y es recolectado por medio de sistemas mecánicos como son rastras (ver figuras 2.2 y 2.3).



PLANTA



ELEVACION

Fig.1.7 Laguna de estabilización aerada mecánicamente.

1.2.4.- Tratamiento avanzado en la depuración de aguas residuales.

a) COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN.

En las aguas a tratar existen partículas en suspensión que por sí solas tardan en sedimentar, la coagulación y sedimentación se basa en la adición de coagulantes químicos y añadiendo energía de mezclado, de esta manera se forman flóculos o masas que por su peso compuesto sedimentan más rápidamente.

b) INTERCAMBIO IÓNICO.

El intercambio iónico remueve de un agua cruda los iones indeseables transfiriéndolos a un material sólido, llamado intercambiador iónico, el cual los acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador de iones. El intercambiador iónico tiene una capacidad limitada para almacenar iones en su esqueleto, llamada capacidad de intercambio; en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables. Entonces se le lava con una solución fuertemente regeneradora que contiene la especie deseable de iones, los que sustituyen a los iones indeseables acumulados, dejando el material de intercambio en condición útil (fig 1.8).

Este proceso consiste en remover el nitrógeno amoniacal con una resina de intercambio selectiva natural conocida como clinoptilolita. La regeneración se realiza con sal muera. El amoníaco puede extraerse de la sal muera con ácido sulfúrico, para producir sulfato de amoníaco que sirve como fertilizante.

c) OSMOSIS INVERSA

Es un proceso de membrana para eliminar impurezas del agua, mediante la aplicación de una presión hidrostática para empujar el agua cruda a través de una membrana semipermeable, mientras que la porción principal del contenido de impurezas se separa y se descarga como residuo. El agua pura o producto emerge esencialmente a presión atmosférica, mientras que el residuo concentrado permanece a la presión original. En este proceso el producto pierde su concentración de impurezas en el residuo el cual aumenta su concentración (fig. 1.11).

d) ELECTRODIALISIS.

Este proceso se utiliza para la potabilización de aguas salobres. El proceso consiste en promover la migración de los iones presentes en el agua a través de membranas bajo la influencia de una corriente eléctrica. El proceso es selectivo a los contaminantes inorgánicos (fig. 1.12).

e) ADSORCIÓN.

Es el proceso físico químico mediante el cual una substancia se acumula en la frontera entre dos fases. En el caso del tratamiento del agua la desorción de la solución ocurre cuando las impurezas presentes en el agua se acumulan en la interfase sólido líquido. El adsorbato es la substancia que se remueve de

la fase líquida a la interfase. El adsorbente es la fase sólida donde ocurre la acumulación. El adsorbente más común es el carbón activado (fig. 1.9).

f) FILTRACIÓN.

Este proceso consiste en hacer pasar el líquido por materiales granulares para la eliminación de sólidos suspendidos. La eficiencia depende del material granular que se emplee como medio filtrante (fig. 1.10).

g) DESINFECCION.

Es el proceso por el cual se destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua. Los sistemas de desinfección se dividen en dos grupos, los químicos y los no químicos. Los químicos como el cloro, el dióxido de cloro, el bromo el yodo, y el ozono. Los no químicos como son la radiación ultravioleta y la radiación gama.

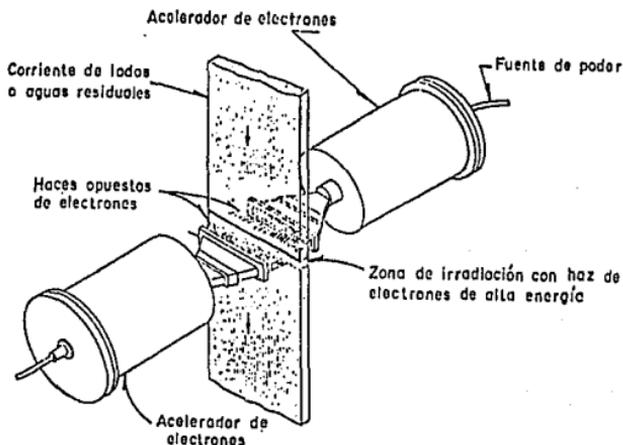


Fig. 1.8.- Diagrama esquemático de un acelerador de electrones para intercambio iónico.

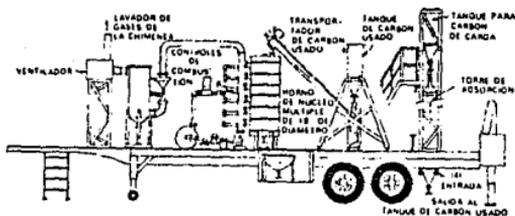


Fig.1.9 Adsorcion Planta piloto de carbon activado (montada en un trailer).

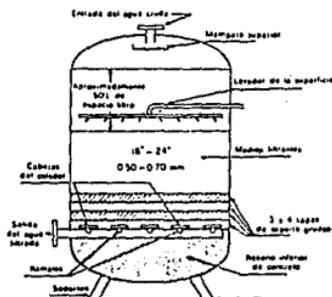


Fig. 1.10 Filtración (filtración por presión).



Fig.1.11.- Osmosis inversa etapa única.

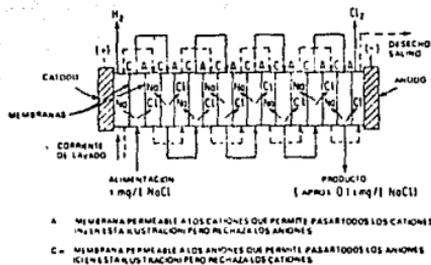


Fig. 1.12 Electrodiálisis (dibujo esquemático de un apilamiento de membranas selectivas permeables ensambladas como una unidad de electrodiálisis)

CAPITULO II.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO EMPLEADO EN LA RECIRCULACIÓN DE LOS LODOS ACTIVADOS.

2.1.- Tratamiento de lodos activados en la depuración de aguas residuales.

Los lodos activados se forman al poner en contacto materia orgánica con bacterias que utilizan como sustrato o alimento al material orgánico existente en el agua residual, el lodo activado es una agrupación pues de bacterias y materia orgánica.

El tratamiento de los lodos activados consiste en la degradación de la materia orgánica existente en el agua residual, el propósito consiste en poner en contacto oxígeno, bacterias y agua residual, estas bacterias utilizan como sustrato el material orgánico existente en el agua residual degradándolo y transformando el material orgánico a sus compuestos más simples, con lo que el agua se depura parcialmente.

En forma simple se puede decir que el mecanismo de depuración de las aguas residuales por medio del proceso de lodos activados consiste en la biodegradación de una parte de la materia orgánica existente en el agua residual, realizada por microorganismo (bacterias) que se han adaptado a utilizarla como alimento (o sustrato) y produciendo a partir de ellas compuestos estables.

2.1.1.- Características de los lodos activados.

El lodo activado es un fango diluido en forma de flóculos (dichos flóculos son formados por microorganismos y materia orgánica) y contiene solamente sólidos finos, sus características son:

- 1.- Temperatura máxima de operación 20°C.
- 2.- Densidad relativa a temperatura de operación $\delta=1.049$
- 3.- Densidad del lodo 1049 kg/m³.
- 4.- Viscosidad cinemática 1.008×10^{-6} m²/s.

2.1.2.- Mecánica del proceso de lodos activados.

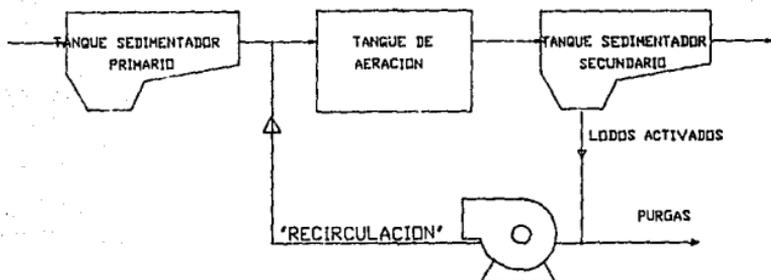


Fig 2.1 -Esquema del proceso de lodos activados.

Si siguiendo el camino del agua residual a través de las unidades en la fig. 2.1, se observa que en primer lugar se tiene el tanque sedimentador primario, el cual es un separador de sólidos suspendidos en el cual debido a su peso, (por gravedad) los sólidos se depositan en el fondo del tanque, son colectados en tolvas y enviados ya sea al drenaje, o bien, a las unidades de tratamiento de lodos para su disposición final, después el agua pasa al tanque de aeración en el que se adiciona aire por medio de difusores de burbuja que se localizan en el fondo de este tanque con doble propósito, primero, proveer el oxígeno necesario para la subsistencia de los microorganismos y segundo, mantener en agitación el contenido del tanque con el objetivo de mantener a los microorganismos en el mayor contacto con el material orgánico existente en las aguas residuales. En este proceso se forman agrupaciones de materia orgánica y microorganismos en forma de flóculos los cuales son los lodos activados.

El contenido del tanque de aeración se denomina licor mezclado, el cual pasa al tanque sedimentador secundario donde los flóculos son separados del agua por gravedad; el agua ya clarificada es colectada en canaletas y enviada a desinfección, por su parte los flóculos o lodos activados son colectados por rastras y enviados hacia una tolva en el sedimentador secundario, de donde parte de ellos son extraídos y enviados al cárcamo de lodos donde son bombeados y recirculados al tanque de aeración, la otra parte se desecha del sistema mediante purgas.

2.2.- Importancia del proceso de recirculación en el tratamiento de lodos activados.

La importancia de la recirculación es hacer más eficiente la remoción de la materia orgánica en el agua residual, así como lograrlo en el menor tiempo, la recirculación se hace inyectando los lodos en el tanque de aeración para hacer un cultivo de microorganismos en dicho tanque, de no hacer la recirculación, se tendría que esperar a que se formaran las bacterias degradadoras de la materia orgánica y ésto llevaría más tiempo en la depuración del agua residual.

2.3.- Captación de los lodos en los sedimentadores.

Al sedimentar los lodos en el fondo del tanque, son recolectados por rastras que barren el fondo del tanque, de esta manera los lodos son barridos y recolectados en la tolva del sedimentador que se localiza en el extremo de alimentación de agua al tanque en los sedimentadores cuadrados; en los sedimentadores circulares hay una pendiente hacia el centro del tanque y los lodos son recolectados por medio de una rastra que gira circularmente y envía los lodos hacia el centro del sedimentador, donde los lodos son extraídos por presión hidrostática (ver figuras 2.2 y 2.3).

Al ser recolectados los lodos en las tolvas son extraídos por medio de la apertura de válvulas y conducidos al cárcamo de lodos una parte y otra es desechado del sistema por medio de purgas.

Fig 2.2 -Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos.

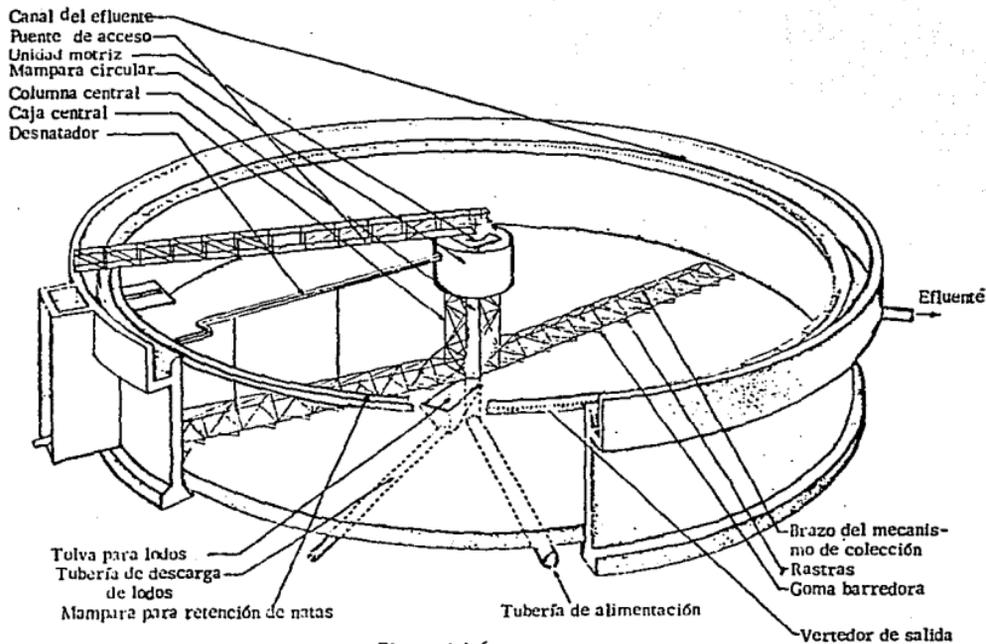
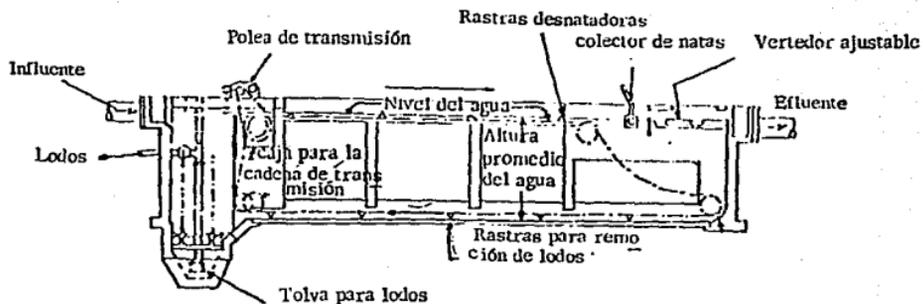


Figura 4.1.6

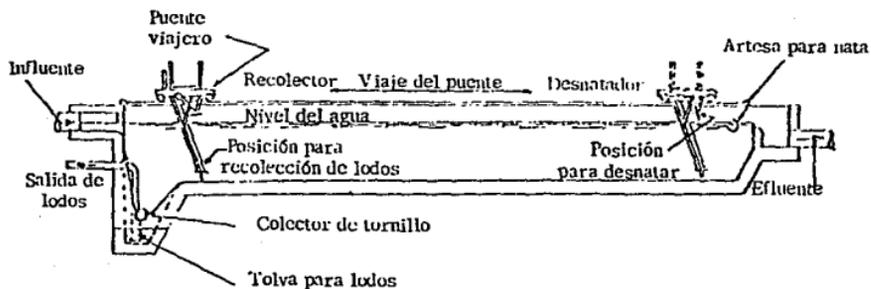
SEDIMENTADOR CIRCULAR, ALIMENTACION CENTRAL CON RASTRAS PARA RECOLECCION DE LODOS.

Cortesía: Ecodyne Corporation
Smith and Lovells Division

Fig 2.3 - Tanques de sedimentación rectangular.



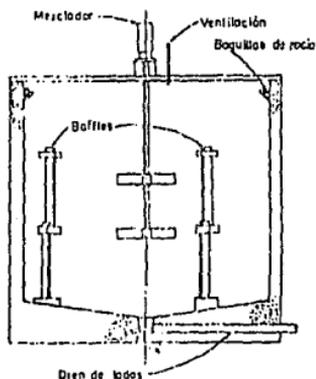
(b) COLECTOR CON RASIRAS



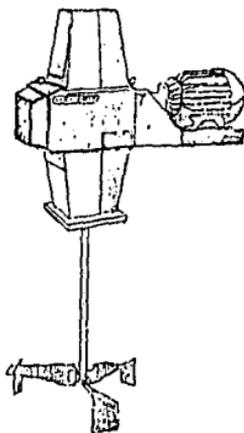
(c) COLECTOR CON PUENTE VIAJERO

2.4.- Cárcamo de lodos.

El cárcamo de lodos o pozo de succión es un tanque de estructura de concreto o mampostería que se utiliza para la recolección de los lodos, puede ser circular o cuadrado, esta estructura es la que almacena los lodos que serán recirculados en el sistema de lodos activados y enviados por bombeo y línea de conducción al tanque de aeración, generalmente es enterrado, sus dimensiones están hechas en base al equipo de bombeo que se instalará y del procedimiento de su construcción. Junto a él se localiza el equipo de bombeo para la recirculación. Se debe tomar en cuenta su diseño para facilitar las inspecciones, mantenimiento y limpieza del mismo, por lo general se utiliza en el cárcamo un agitador o mezclador para evitar que los lodos se sedimenten y lleguen a atascar el equipo de bombeo, algunas veces es necesario utilizar el cárcamo seco, que es la estructura que se localiza junto al cárcamo húmedo o cárcamo de lodos, en el cárcamo seco se localiza el equipo de bombeo.



TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS
CON MEZCLADOR.



MEZCLADOR TÍPICO USADO EN
PLANTAS DE TRATAMIENTO
DE AGUAS NEGRAS.

Fig 2.4 -Cárcamo de lodos o pozo de succión y mezclador.

2.5.- ARREGLOS TÍPICOS DE BOMBAS EN CARCAMOS

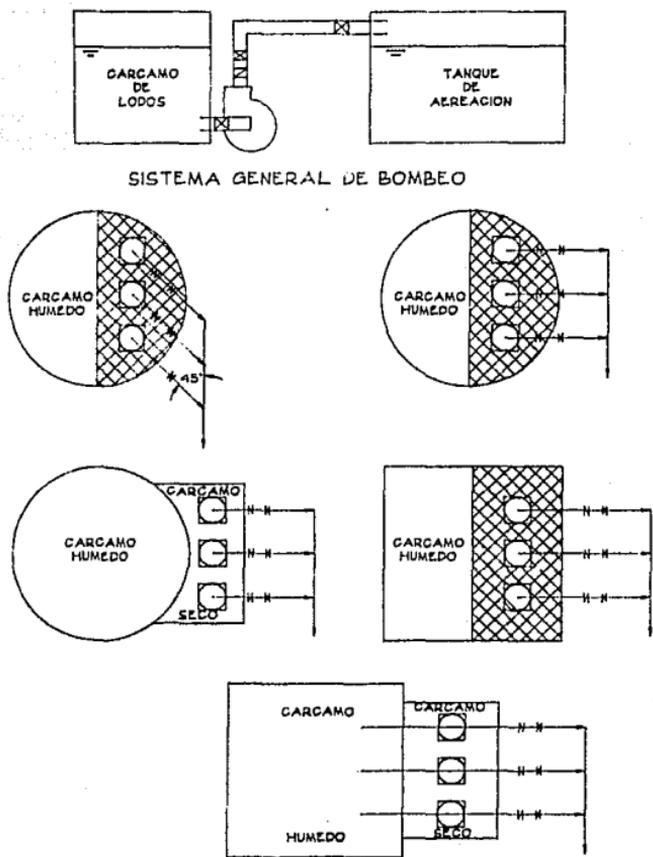


FIG 2.5 .- ARREGLOS TÍPICOS DE BOMBAS EN CARCAMOS

2.6.- Descarga de los lodos activados.

La descarga comprende todos los elementos e instalaciones que se necesitan para conducir el líquido, desde la salida de la bomba, hasta donde se inicia su distribución.

Con lo anterior se deduce que en la planta se distinguen los siguientes elementos básicamente: tubería de descarga, válvulas y accesorios como métodos de protección y tanque de descarga que en este caso es el tanque de aeración.

Para la alimentación del tanque de descarga (que es el tanque de aeración) se toma en cuenta que en el tanque de aeración siempre está entrando agua cruda o sin tratar, y que el caudal de lodos de recirculación y esta agua entrante al tanque de aeración deben estar en proporciones que ingeniería ambiental debe decidir para la mejor eficiencia del sistema.

Para el evaluo de las alternativas de la forma de descarga del equipo, se debe tener en cuenta las elevaciones que se tienen, con el objetivo de evaluar y discutir cada alternativa, para finalmente decidir la o las elevaciones que se tienen en el sistema y la forma de efectuar la descarga.

Para el buen diseño del sistema de descarga se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- Elevación de la descarga
- Area dominada.
- Gasto requerido.
- Carga estática de bombeo.
- Longitud de la tubería de descarga.
- Diámetro y clase de la tubería de descarga.
- Pérdidas de energía mayores en la tubería.
- Carga total de bombeo aproximada.
- Características del equipo de bombeo (número y tipo).
- Tipo y potencia de los motores.
- Accesorios de protección control (válvulas, compuertas, etc.).
- Características de las obras de Ingeniería Civil (cárcamo).

Cuando la descarga es localizada a bastante distancia del equipo de bombeo, y se tengan varias bombas, las bombas pueden descargar de forma individual, sin embargo, para economizar es mejor conectarlas a una tubería común de un diámetro mayor y con ésta, conducir el líquido en forma conjunta hasta el sitio elegido. Algunas veces es necesario la utilización de más de una tubería común, ésto depende del gasto a conducir, del número de bombas y de la forma prevista para combinar la operación del sistema, de tal forma que el gasto cubra las necesidades de la planta.

En la tubería de descarga, las características de diámetro.

material, espesor, etc., se determinan por medio de un estudio técnico-económico el cual permita elegir la mejor en base a seguridad contra esfuerzos a los que estará sometida, previendo todas las contingencias, y haciendo más económico el sistema, tanto en el inicio como en el mantenimiento de la línea, así como los que se originan por las pérdidas de fricción en el sistema.

Las tuberías se instalan en: la superficie del terreno, enterradas o combinando éstas dos maneras. La forma de colocar la tubería sobre el terreno depende siempre de la topografía, clase de tubería y geología del terreno; por ejemplo en terrenos rocosos, lo más conveniente es llevarla por la superficie. En cualquier tipo de tubería se deben evitar los quiebres, tanto horizontales como verticales, con el objeto de eliminar los accesorios como son codos y piezas especiales que son necesarias para dar un cambio de dirección en la línea, ya que estos cambios aumentan las pérdidas de carga al sistema, el costo de la instalación y en ocasiones puede propiciar el confinamiento de aire mezclado con el agua, debido a la turbulencia que producen dichos aditamentos.

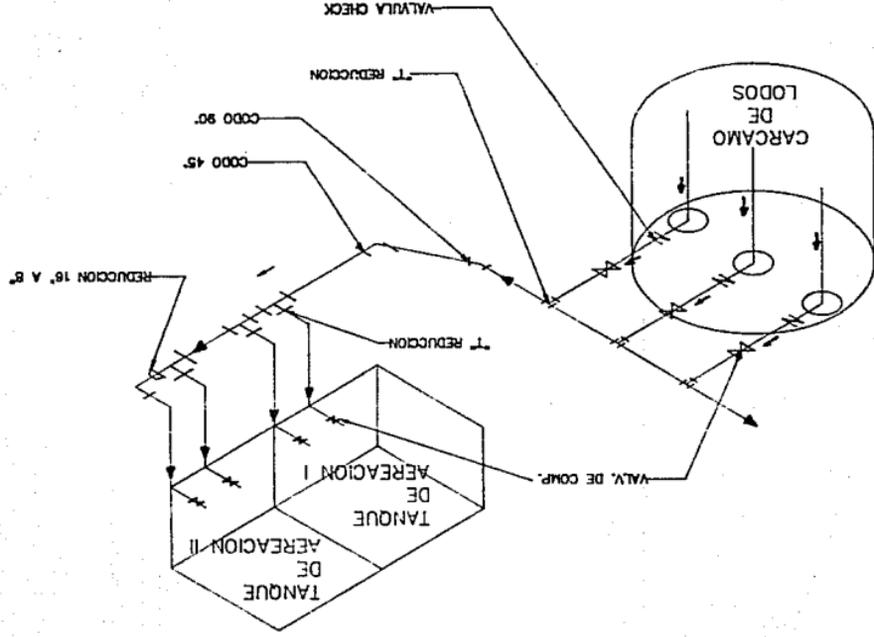


Fig.2.6 Diagrama de la descarga de los lodos activados.

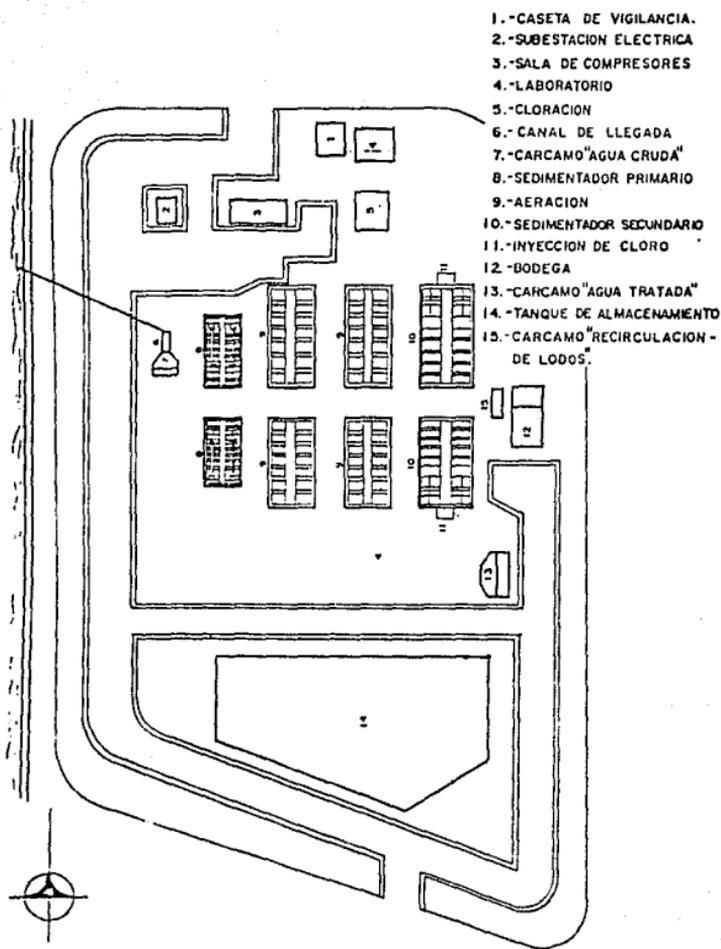


Fig. 2.7.- Distribución típica de una planta de tratamiento de aguas residuales

CAPITULO III.- PRESELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.

3.1.- Generalidades.

En este capítulo se realizará una preselección del equipo de bombeo, consultando a proveedores de bombas especializadas para un sistema de recirculación de lodos activados, este capítulo cuenta con un análisis económico y técnico de las bombas cotizadas por el proveedor, y se seleccionará la mejor bomba conforme a los análisis realizados y será la bomba que se utilizará para dicho sistema.

3.2.- Restricciones aplicadas al equipo de bombeo.

- 1.- La velocidad de funcionamiento de la bomba debe de ser baja para no destruir el carácter floculento, ya que la destrucción de el carácter floculento deteriora la eficiencia de depuración del sistema de lodos activados.
- 2.- De preferencia utilizar bombas centrífugas inatascales, ya sean verticales u horizontales.
- 3.- Las conexiones a la bomba no deben de ser menores de 0.100 m. de diámetro (100 mm que es condición de ingeniería ambiental).

3.3.- Comparación de tres bombas aptas para la recirculación en el sistema de lodos activados.

a) Condiciones de operación:

- 1.- Capacidad 0.125 m³/s.
- 2.- Carga dinámica total del sistema 11 metros.
- 3.- Temperatura máxima de operación 20° C.
- 4.- Densidad relativa a temperatura de operación 1.049
- 5.- Viscosidad a temperatura de operación 1.008×10^4 m²/seg.
- 6.- CNSP disponible (carga neta de succión positiva disponible) 6.70 m.
- 7.- El equipo consta de tres bombas, dos en operación y una en reserva (es una bomba por tren de tratamiento de agua residual, por lo tanto serían dos trenes de tratamiento y una bomba de reserva).

Las bombas cotizadas por los fabricantes especializados determinan la aplicación de los equipos cuya descripción aparece a continuación:

b) Descripción de la bomba vertical tipo turbina y comportamiento para el sistema de recirculación de lodos activados.

Esta bomba es lubricada por agua, modelo 12HH-200/1 ensamble de tazones cabezal de descarga IM-1019 columna de 10x1,1/2 pulgadas (0.254x0.0381 metros), flecha motriz de 1 pulgada (0.0254 metros), colador de canasta de 10 pulgadas (0.254 metros) acoplada a motor de 30 H.P. 4 polos. VHF-APG. (ventilador de alta velocidad a prueba de goteo)

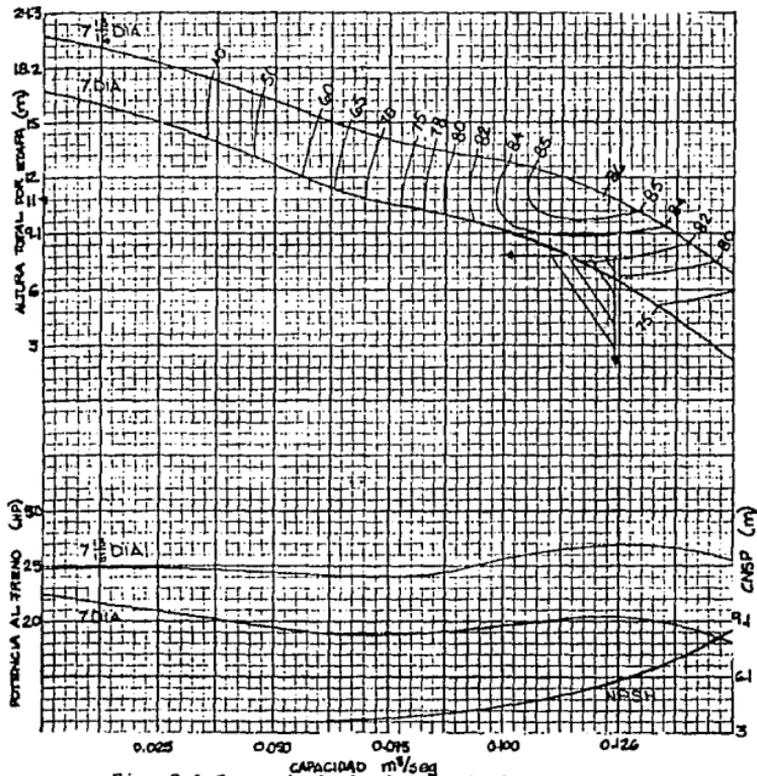


Fig. 3.1 Curva de la bomba vertical tipo turbina.

TABLA 3.1

MEDIDAS DE LA BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA.		
PARTE	MEDIDA (PULGADAS)	MEDIDA (METROS)
A	9 1/2	0.2413
B	6	0.1524
C	32 13/16	0.83343
D	15 1/8	0.38735
E	11 1/2	0.2921
F	13	0.3302
G	34 5/16	0.87153
H	9	0.2286
I	7 7/8	0.20

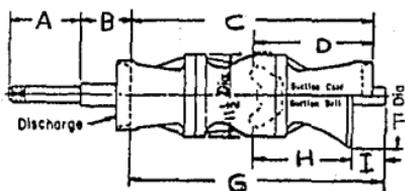


Fig. 3.2 Bomba vertical tipo turbina.

TABLA 3.2

MATERIALES ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA	
Impulsor	Bronce.
Tazón	Hierro fundido esmaltado.
Factor de empuje	14.5
Peso del rotor por etapa	27 lbs (12.24 Kg)
Peso del tazón de la primera etapa.	275 lbs (124.73 Kg)
Peso del tazón en etapa adicional.	101 lbs (45.81 Kg)
Máximos caballos de fuerza del tazón.	240 H.P. (178.96 Kw)
Area del ojo del impulsor	33.4 pulg ² (0.0215 m ²)
Diámetro de la flecha del impulsor	1.75 pulg (0.0444 m)
Mínimo diámetro de la flecha del impulsor	0.813 pulg (0.0206 m)
Diámetro de la tubería de columna	10, y 8 pulg (0.254, y 0.2032 metros)
Diámetro de la tubería de succión	10 pulg (0.254 m.)

c) Descripción de la bomba horizontal inatascable y comportamiento para el sistema de recirculación de lodos activados.

Bomba Horizontal para aguas negras modelo 8FL-16 construida en fierro fundido con estopero, cople 600 con guardacople. Base armazón 326T. Motor 30 H.P. de 6 polos 220-440 Volts. TCCV (totalmente cerrada con ventilación).

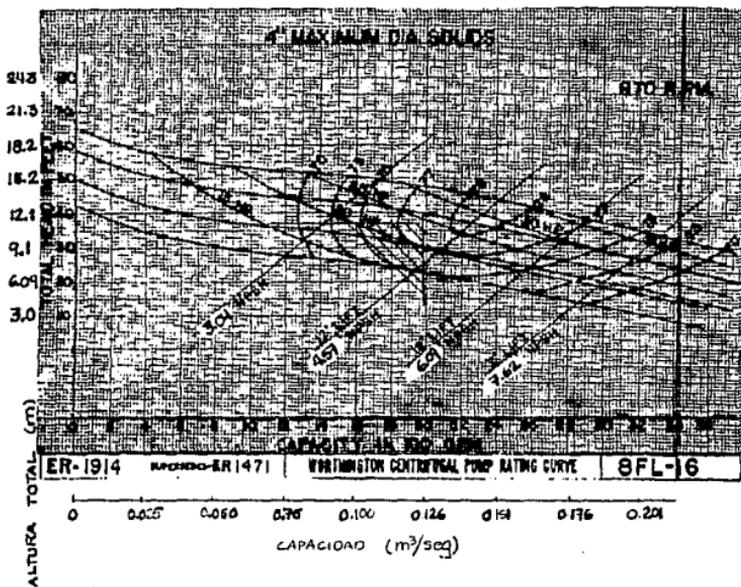


Fig. 3.3 Curva de la bomba horizontal inatascable

TABLA 3.3.-MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PARTE	MATERIAL ESTÁNDAR	MATERIALES OPCIONALES
Cárcasa	Hierro fundido M-3112	
Impulsor	Hierro fundido M-3112	Bronce M-3445
Anillo de desgaste del impulsor	Ninguno	Bronce M-3445. 17-19% Cr. Acero M-3261
Anillo de desgaste del cabezal de succión	Ninguno	Bronce M-3447 17-19% Cr. Acero M-3264
Preñseestopas	Bronce, dividido M-3445	
Flecha	Acero M-4215	
Manguillo de la flecha	11-13% Cr. Acero M-3261	Bronce M-3445
Línea de chumaceras	SKF Baleros lubricados por grasa	
Factor de chumaceras	SKF Baleros lubricados por grasa	
Caja prensaestopas	Hierro fundido M-3112	
Armazón de chumaceras	Hierro fundido M-3112	
Cabezal de succión o codo de succión	Hierro fundido M-3112	
Empaques	Asbesto grafitado	
Caja Hermética	Bronce	
Acoplamiento	Worthington	
Base para la bomba y soporte para el motor	Fabricados en acero.	

TABLA 3.4.-PRESIÓN Y TEMPERATURA LIMITE

PRESIÓN HIDROSTÁTICA	MÁX. PRESIÓN DE SUCCIÓN	MÁX. PRESIÓN DE DESCARGA	TEMPERATURA MÁXIMA
5.2725 Kg/cm ²	1.7575 Kg/cm ²	4.218 Kg/cm ²	107.22 °C

TABLA 3.5.-MEDIDAS DE LA BOMBA HORIZONTAL INATASCABLE		
PARTE	MEDIDA (PULG.)	MEDIDA (METROS)
DIÁMETRO DE DESCARGA	8	0.2032
DIÁMETRO DE SUCCIÓN	8	0.2032
A	10 1/2	0.2667
B	7	0.1778
*B'	16 1/2	0.4191
C	21	0.5334
D	16 3/16	0.4118
E	34 3/4	0.8826
F	15 3/16	0.3886
G	11	0.2794
H	20	0.508
N	1 1/4	0.03175

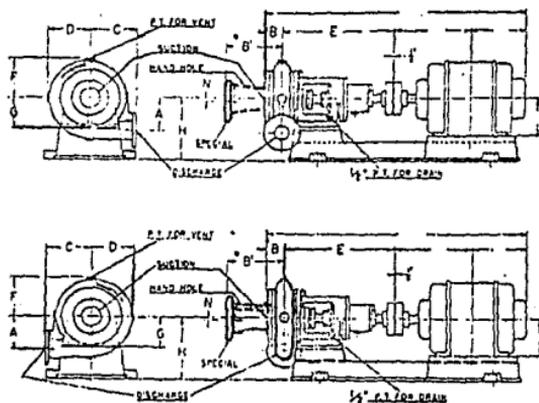


Fig. 3.4 Bomba horizontal inatascable.

- d) Descripción de la bomba horizontal verticalizada inatacable (sumergible) y comportamiento para el sistema de recirculación de lodos activados.

Bomba vertical tipo cárcamo húmedo, impulsor cerrado inatacable SUMP-PUMP modelo 8FLJD-16 en fierro fundido con un paso de esfera de 4 pulg de diámetro máximo (0.1016 m) y columna para un tirante de 1.9 metros acoplada a motor marca U.S. de 30 H. P./ 6 polos/ VHF-APG.

(Las medidas de esta bomba son similares a la horizontal inatacable solo que esta bomba se fabrica verticalizada, y las curvas de comportamiento son iguales a la de la horizontal inatacable, es por eso que son iguales las gráficas de las curvas).

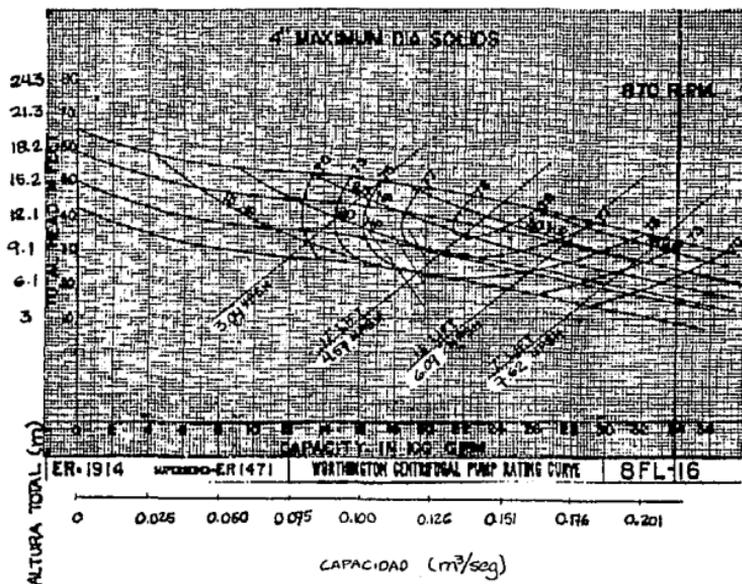


Fig. 3.5.- Curva de la bomba horizontal verticalizada.

TABLA 3.6. --MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

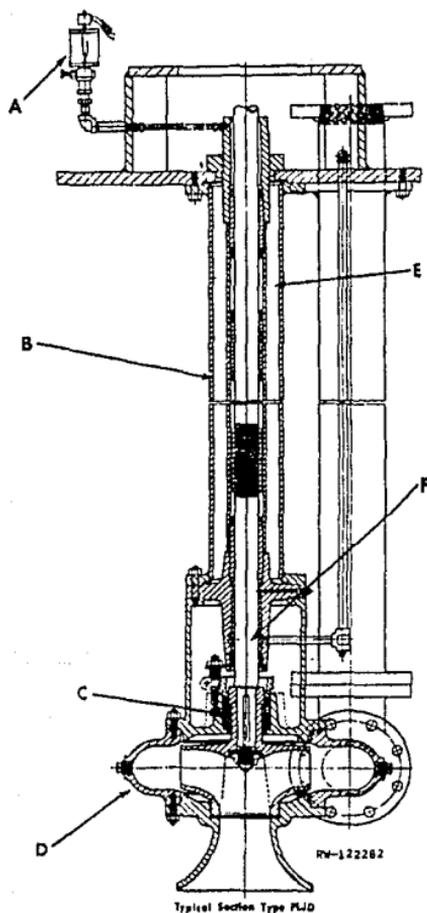
PARTE	MATERIAL ESTÁNDAR	MATERIALES OPCIONALES
Cárcasa	Hierro fundido M-3112	
Impulsor	Hierro fundido M-3112	Bronce M-3445
Campana de Succión	Hierro fundido M-3112	
Anillo de desgaste del impulsor	Ninguno	Bronce M-3445. 11-13% Cr. Acero M-3261.
Anillo de desgaste del cabezal de succión	Ninguno	Bronce M-3447. 17-19% Cr. Acero M-3264.
Manguillo de la flecha	13% Cromo Acero M-3261	Bronce M-3445
Flecha de la bomba	13% Cromo Acero M-4261	
Flecha intermedia	Acero M-4215	
Chumaceras de la bomba	Bronce M-3431A	
Chumaceras intermedias (lubricadas por aceite)	Bronce M-3431A	
Tubería cobre flecha	Acero	
Tubería de bajada	Acero	
Tubería de descarga (FLJD)	Acero tratado	
Caja prensaestopas	Hierro fundido M-3112	
Prensaestopas (accionado por resortes)	Bronce	
Empaques	Grafito, asbesto	
Placa de piso (asiento del motor)	Acero	

TABLA 3.7.-PRESIÓN Y TEMPERATURA LIMITE

PRESIÓN HIDROSTÁTICA	MÁX. PRESIÓN DE SUCCIÓN	MÁX. PRESIÓN DE DESCARGA	TEMPERATURA MÁXIMA
5.2725 Kg/cm ²	Ahogada o inundada	4.218 Kg/cm ²	93.33°C

Las distancias del piso a la succión y de las paredes a la succión recomendadas por el fabricante para dimensionar el cárcamo y no tener mal funcionamiento de las bombas en la succión son las siguientes en esta bomba:

Distancia del piso a la campana de succión (Diámetro de la campana de succión = D.) 0.5D mínimo ó 0.75D de preferencia.
 Distancia de la campana de succión hacia las paredes es 2D desde el centro de la campana de succión en todas direcciones.



- A.- Solenoide de aceite en la unidad de mando del motor.
- B.- Tubería protectora de la flecha y soporte de chumaceras intermedias.
- C.- Caja prensaestopas accionada por resortes.
- D.- Cárcasa inatascable e impulsor diseñados para aguas negras.
- E.- Tubería de bajada.
- F.- Lubricación por grasa para las chumaceras de abajo para evitar la pérdida de aceite por la entrada de agua.

Fig.3.6 Bomba verticalizada inatascable.

e) Cuadro técnico comparativo de las bombas a emplear:

TIPO DE BOMBA -----	VERTICAL TURBINA	HORIZONTAL INATASCABLE	HORIZONTAL VERTICALIZADA INATASCABLE
CARACTERÍSTICA			
FABRICANTE	WORTHINGTON	WORTHINGTON	WORTHINGTON
ETAPAS	1	1	1
VELOCIDAD RPM	1760	870	870
MODELO O TAMAÑO	12HH-200/1	8FL-16	8FLJD-16
EFICIENCIA %	80	77	77
CNSP REQUERIDA (METROS)	5.94	4.57	4.57
COSTO DE LA BOMBA CON UNIDAD MOTRIZ	N\$ 14.500.00	N\$ 25.028.00	N\$ 37.814.00
TIEMPO DE ENTREGA	10-12 SEMANAS	8-10 SEMANAS	8-10 SEMANAS
CONDICIÓN DE PAGO	50% ANTICIPO, NETO 30 DÍAS.	CONTADO	CONTADO
LUGAR DE ENTREGA	MEXICO, D.F.	MEXICO, D.F.	MEXICO, D.F.
MOTOR	30 HP	30 HP	30 HP
PRESIÓN MÁXIMA DE DESCARGA lb/pulg ² .	65	100	60
HP AL FRENO EN EL PUNTO ESPECIFICADO	20.5	24.8	24.8

f) Comentarios:

Bomba vertical tipo turbina.- Es una buena opción basándose en el precio y la máxima eficiencia, pero puede atascarse al tener sedimentación de los lodos en el fondo del cárcamo debido a que su paso de esfera es de una pulgada (0.0254 m), también su velocidad de funcionamiento es el doble comparándola con las otras dos bombas, lo cual podría precipitar la destrucción del carácter flocculento de los lodos en mayor porcentaje que las bombas inatascables ya que éstas funcionan a menor velocidad, a demás es lubricada por agua, lo cual requeriría hacerle una toma especial de agua limpia para su lubricación lo cual sería otro inconveniente.

Bomba horizontal inatascable.- Considerando su buen funcionamiento para no destruir los lodos por su baja velocidad de operación y que es remoto que pueda atascarse es la mejor opción de las tres bombas contando también con el precio de adquisición, su lubricación es por aceite, y su máximo paso de esfera es de cuatro pulgadas (0.1016 m).

Bomba horizontal verticalizada inatascable (sumergible).- Excesivamente cara y tiene el mismo comportamiento y el mismo funcionamiento que la bomba horizontal inatascable.

Las bombas inatascables tienen un paso de esfera de 4 pulgadas ó 0.1016 m. (es el máximo diámetro de partículas que puede pasar la bomba), su lubricación es por medio de aceite.

f) Tabla comparativa de análisis económico para selección del equipo de bombeo.

	BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA	BOMBA HORIZONTAL VERTICALIZADA INATASCABLE	BOMBA HORIZONTAL INATASCABLE
Consumo de potencia	30 HP	30 HP	30 HP
Demanda de Energía Eléctrica	20.5 HP 14.914 KW	24.8 HP 18.493 KW	24.8 HP 18.493 KW
Costo por Energía Eléctrica N\$ 0.150 KW-hr (7680 hr/año)	N\$17.180.92 Anuales	N\$21.303.93 Anuales	N\$21.303.93 Anuales
Costo por operación y mantenimiento (aproximadamente del 10 al 15% anual de su precio de compra)	N\$2030.00 Anuales	N\$4915.88 Anuales	N\$2753.08 Anuales
Costo por compra anuales con una vida útil de 10 años (depreciación del 9% anual) y costo de recuperación del 10% del precio del equipo.	N\$1305.00 Anuales	N\$3403.30 Anuales	N\$2252.52 Anuales
Total costos anuales	N\$20515.92	N\$29623.11	N\$26309.53

3.4.- Conclusión.

La mejor bomba en base a su precio y funcionamiento para el sistema de recirculación de los lodos activados es la bomba horizontal inatacable (N\$25,028.00), la bomba vertical tipo turbina en base a su precio es muy accesible (N\$14,500.00), pero funciona al doble de la velocidad que las otras dos bombas inatacables y ésto propicia la destrucción del carácter floculento de los lodos, además, tiene un paso máximo de esfera de 1 pulgada de diámetro lo que puede propiciar que se atasque en dado caso de que los lodos activados tengan sedimentación en el cárcamo húmedo, otro aspecto de vital importancia en la consideración de esta bomba, es que es lubricada por agua, lo cual requeriría de hacerle una toma especial de agua para su lubricación lo cual aumentaría los costos de la unidad para este sistema, la bomba horizontal verticalizada inatacable funciona con las mismas características de la bomba horizontal inatacable, su comportamiento es el mismo técnicamente, pero el precio se eleva considerablemente costando la horizontal inatacable N\$25,028.00 y la horizontal verticalizada N\$37,814.00 por unidad, considerando que se necesitan tres bombas para el sistema de recirculación de los lodos activados la diferencia económica entre considerar una bomba y otra es bastante grande.

CAPITULO IV.- DISEÑO Y CALCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CARCAMO DE LODOS.

4.1.- Generalidades.

En este capítulo se realizará el cálculo para el dimensionamiento del cárcamo de lodos conforme al número y tamaño del equipo de bombeo empleado y conforme a los requerimientos de dicho equipo para su óptimo funcionamiento.

4.2.- Cárcamos empleados para el almacenamiento de lodos.

El pozo de succión de lodos o cárcamo de lodos es la estructura en la cual se almacenan los lodos para después bombearlos en recirculación hacia el tanque de aeración, se emplean dos tipos básicamente de secciones geométricas, el cárcamo cuadrado y el cárcamo circular.

Las ventajas de un cárcamo circular y un cárcamo rectangular son principalmente que el cárcamo circular tiene mejor comportamiento ante el empuje de la tierras y que su construcción es más sencilla, ya que se construye hincando anillos de concreto tipo pozo indio que a la vez sirven de base estructural durante su excavación, en cambio el cárcamo rectangular se tiene que hacer el armado estructural con varilla, por lo cual resulta más laborioso y costoso, por lo tanto el cárcamo que se empleará será el circular.

4.3.- Soporte teórico del dimensionamiento del cárcamo.

Siendo el cárcamo el depósito de donde "toman" el agua las bombas, se ha comprobado que de un buen diseño, desde el punto de vista hidráulico, dependen en gran parte las características de funcionamiento deseado y la durabilidad de esas unidades.

En general la forma y dimensiones que se le asignen, se determinan principalmente con el tamaño y número de bombas, por lo que para su proporcionamiento definitivo se deben ver proyectos similares y el equipo de bombeo que comúnmente se utiliza en dichos proyectos.

En el dimensionamiento del cárcamo circular que en este caso utilizaremos, se necesita tener idea del tamaño y cantidad de equipo de bombeo y de la cantidad de líquido que se almacenará, esto se logra basándose en el diseño de otros proyectos similares.

Para la construcción de cárcamos circulares, por lo general se basa en relaciones de medidas del diámetro del cárcamo y su profundidad, las relaciones más empleadas varían entre 2 a 1 y 3 a 1.

Es importante también conocer las distancias del tubo de succión de la bomba dentro del cárcamo, como son distancia recomendada hacia el fondo del cárcamo, hacia las paredes del cárcamo, la distancia recomendada para no interferir con la succión de otro tubo de succión de otra bomba y la distancia mínima requerida para inspeccionar las bombas cuando necesitan mantenimiento; con la idea de las dimensiones recomendadas por el fabricante, se determina el tamaño de la sección circular del cárcamo, y en base a la relación que se quiera, dentro de las relaciones antes mencionadas, se determina la profundidad del cárcamo, más 0.30 a 0.60 m. de profundidad para seguridad por si llegará a subir el nivel del líquido dentro del cárcamo.

Para dimensionar el cárcamo se utilizará la relación 2 a 1, en la fórmula:

$$D_0 = 2H_c$$

donde:

D_0 = Diámetro del cárcamo.

H_c = Altura del cárcamo.

Para el cálculo del volumen de agua donde van a estar operando las bombas, es decir, el volumen del tirante útil se emplea la siguiente fórmula:

$$VOL = \frac{Q \cdot TR}{N}$$

donde:

VOL = Volumen del líquido en el cárcamo en el cual van a estar operando las bombas en metros cúbicos.

Q = gasto demandado por bomba en metros cúbicos por segundo.

TR = tiempo de retención del líquido en el cárcamo entre paro y arranque de bombas en segundos (es un valor de 20 minutos o 1200 segundos máximo).

N = Número de bombas en operación.

El tirante útil es la altura de succión dentro del cárcamo en el cual pueden estar funcionando las bombas, por ejemplo, si el tirante útil de un cárcamo es de 2 metros, las bombas solo pueden estar operando en ese rango de volumen almacenado por el cárcamo, si llega a bajar más de esos dos metros es necesario el paro de la bomba para que no sufra daños por fenómenos como son la cavitación que se explicará más adelante de este tratado, y si el cárcamo tiene esos dos metros de altura, es necesario el

arranque de la bomba para evitar que el líquido se derrame fuera del cárcamo, ya que la entrada de lodos al cárcamo es constante; en otras palabras los dos metros de altura de tirante útil del cárcamo almacenan un volumen en el cual van a estar operando las bombas.

Para el cálculo del tirante útil se emplea la siguiente fórmula:

$$T.U. = \frac{VOL}{AREA-DEL-CARCAMO}$$

donde:

T.U.= Tirante útil en metros.

VOL.= Volumen del líquido en el cual van a estar operando las bombas en metros cúbicos.

AREA DEL CARCAMO= Es el área de la sección circular del cárcamo.

Para determinar el área de la sección circular del cárcamo, se basa en dimensionar el cárcamo en base al equipo de bombeo, al tamaño del equipo y la cantidad que se empleará, por lo general se basa en el diseño y tamaño de proyectos similares, en este tratado se utilizarán tres bombas centrífugas inatascables y la dimensión recomendada para montar este número de bombas es de 5 metros de diámetro o un área de 19.634 metros cuadrados, estas medidas se basan en conocimiento de la magnitud del equipo de bombeo que se empleará, ya que el equipo de bombeo necesita espacio para que no haya interferencia de trabajo si llegaran a trabajar dos bombas al mismo tiempo.

Las distancias recomendadas por el fabricante para el tubo de succión hacia el fondo del cárcamo es de 1.5 veces el diámetro del tubo de succión, y del tubo de succión hacia las paredes o hacia cualquier lado es de 3 veces el diámetro desde el centro del tubo de succión.

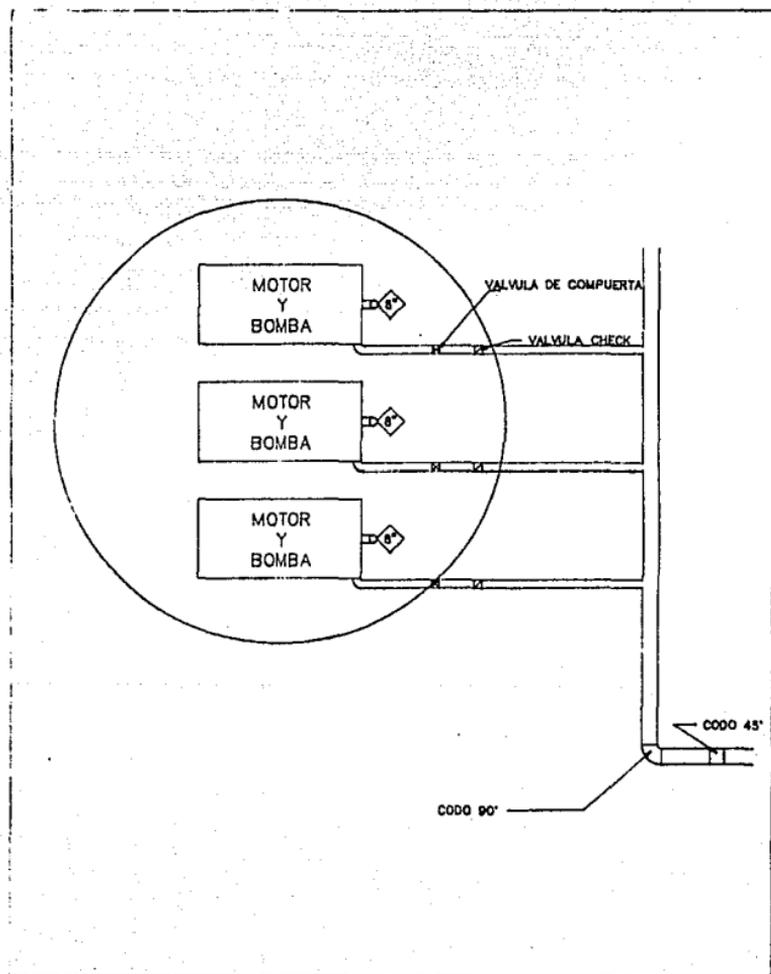


Fig. 4.1.- Arreglo de las bombas en el cárcamo.

4.4.- Descripción del cálculo.

Para el dimensionamiento del cárcamo de lodos, se tienen los parámetros de diseño, con estos valores como son el área de la sección circular del cárcamo, el tiempo de retención, el gasto demandado por bomba utilizaremos:

1.- Con las dimensiones recomendadas por el fabricante para la colocación del tubo de succión y con el número de bombas a colocar se determina el diámetro del cárcamo que se empleará.

2.- Con el diámetro del cárcamo recomendado, se utiliza la fórmula para determinar la profundidad del cárcamo.

3.- La fórmula para el volumen de lodo donde van a estar operando las bombas, la cual nos dará el resultado en metros cúbicos de lodos que necesitan las bombas para su operación.

4.- Con el dato del volumen del lodo que se tiene para operar las bombas y el área de la sección circular del cárcamo se utilizará la fórmula del tirante útil en metros, para conocer la altura en el cárcamo en donde operarán las bombas.

5.- La profundidad que da la medida del tirante útil no es la profundidad que tiene el cárcamo, se debe añadir mayor profundidad, para que las bombas operen satisfactoriamente y evitar el fenómeno de la cavitación.

4.5.- Cálculo del cárcamo de lodos.

4.5.1.- Parámetros de diseño.

1.- Tiempo de retención de lodos en el cárcamo.

$$TR = (10 \text{ minutos}) \times (60 \text{ segundos}) = 600 \text{ segundos.}$$

2.- Gasto demandado por bomba.

$$Q = 0.125 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

3.- Diámetro de la tubería de succión 0.2032 m (8 pulg).

4.5.2.- Cálculo del diámetro del cárcamo de lodos.

Como se vio anteriormente, hay distancias recomendadas por el fabricante para instalar la tubería de succión dentro de un recipiente en este caso el cárcamo, la distancia que recomienda el fabricante en la succión es de 3 veces el diámetro de la tubería de succión desde el centro de la tubería hacia cualquier lado, y como se tienen tres bombas, el diámetro recomendado es:

$$3 \times 0.2032 \text{ m.} = 0.6096 \text{ m.}$$

ésta es la distancia que cada bomba requiere hacia cualquier lado, colocando las bombas, cada bomba requiere dos veces esta distancia en la succión, (se podría decir que requiere 0.6096 m. a la izquierda y 0.6096 m. a la derecha), por lo tanto la

distancia que requiere cada bomba es:

$$0.6096 \text{ m.} \times 2 = 1.2192 \text{ m.}$$

cada bomba requiere de 1.219 m. y son tres bombas, por lo tanto la distancia requerida por las bombas puestas en línea es de:

$$1.2192 \text{ m.} \times 3 \text{ (bombas)} = 3.6576 \text{ m.}$$

agregando una distancia de 0.40 m. para cada bomba, para inspección y mantenimiento da una distancia de:

$$3.6576 \text{ m.} + 0.40 \text{ (3 bombas)} = 4.857 \text{ m.}$$

da una distancia de 4.857 m. por lo tanto dimensionaremos un cárcamo de 5 metros de diámetro con base en la anterior dimensión.

4.5.3.- Cálculo de la altura del cárcamo de lodos.

$$D_c = 2H_c$$

$$H_c = \frac{1}{2} D_c$$

$$H_c = \frac{1}{2} (5\text{m}) = 2.5\text{m}$$

4.5.4.- Cálculo del volumen donde van a estar operando las bombas.

$$VOL = \frac{Q \cdot TR}{2}$$

$$VOL = \frac{(0.125\text{m}^3/\text{seg}) \cdot (600\text{seg})}{2}$$

$$VOL = 37.5 \text{ m}^3$$

4.5.5.- Cálculo de tirante útil del cárcamo.

$$T.U. = \frac{VOL}{AREA-DEL-CARCAMO}$$

$$T.U. = \frac{37.5m^3}{19.634m^2}$$

$$T.U. = 1.90 \text{ m}$$

4.6.- Niveles de paro y arranque de las bombas.

Es importante determinar los niveles de paro y arranque de las bombas, por lo general se determinan estos niveles en forma escalonada si son varias las bombas que van a funcionar en el sistema, en nuestro caso, son dos bombas las que trabajarán en forma simultanea y una que será de reserva que funcionará en la forma escalonada antes dicha.

Las bombas que funcionarán simultáneamente, tendrán niveles de paro y arranque iguales, la bomba de reserva, funcionará si alguna de estas bombas se descompone o si necesita mantenimiento, también funcionará o entrará en arranque si el nivel del líquido sube dentro del cárcamo aun cuando las otras dos bombas estén en funcionamiento para evitar el derramamiento del líquido fuera del cárcamo, y parará antes que las otras dos bombas para evitar que el cárcamo de lodos se vacíe rápidamente, es decir el nivel paro de arranque de la bomba de reserva será antes que el de las dos bombas de funcionamiento continuo.

4.7.- Simbología del dimensionamiento del cárcamo.

NC = Nivel de Corona.
NAER = Nivel Arranque de bomba de Reserva.
NAB = Nivel Arranque de bomba.
NPER = Nivel Paro de bomba de Reserva.
NPB = Nivel Paro de Bomba.
NNT = Nivel Natural del Terreno.
NFC = Nivel Fondo del Cárcamo.
TU = Tirante Útil.
NS = Nivel de la succión.
NET = Nivel eje de tubería.

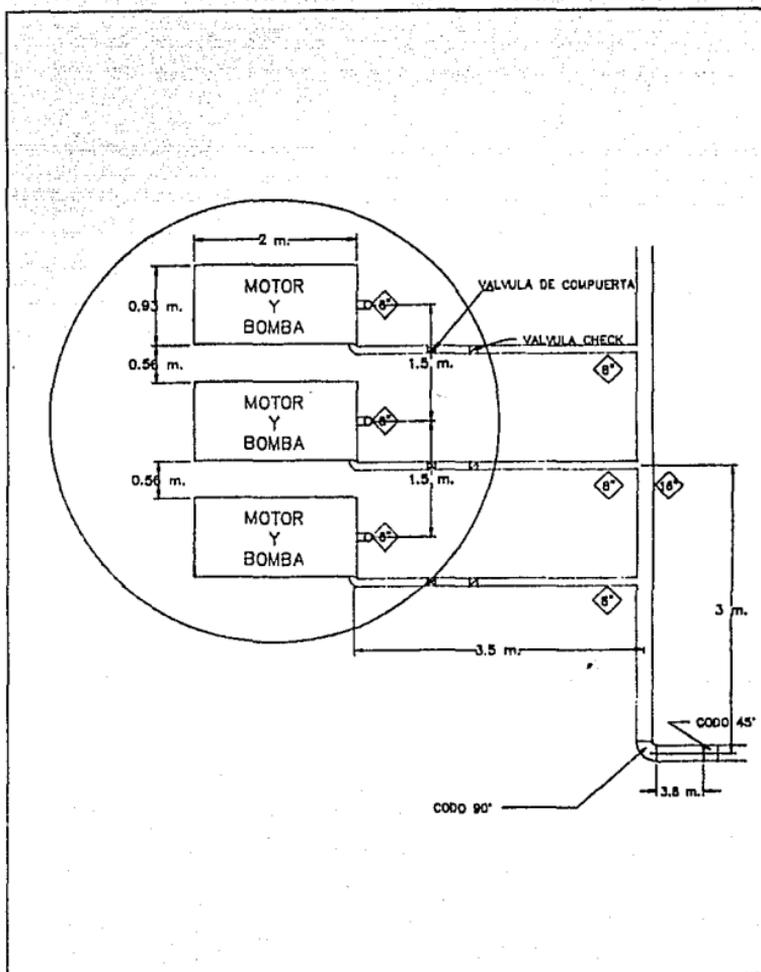
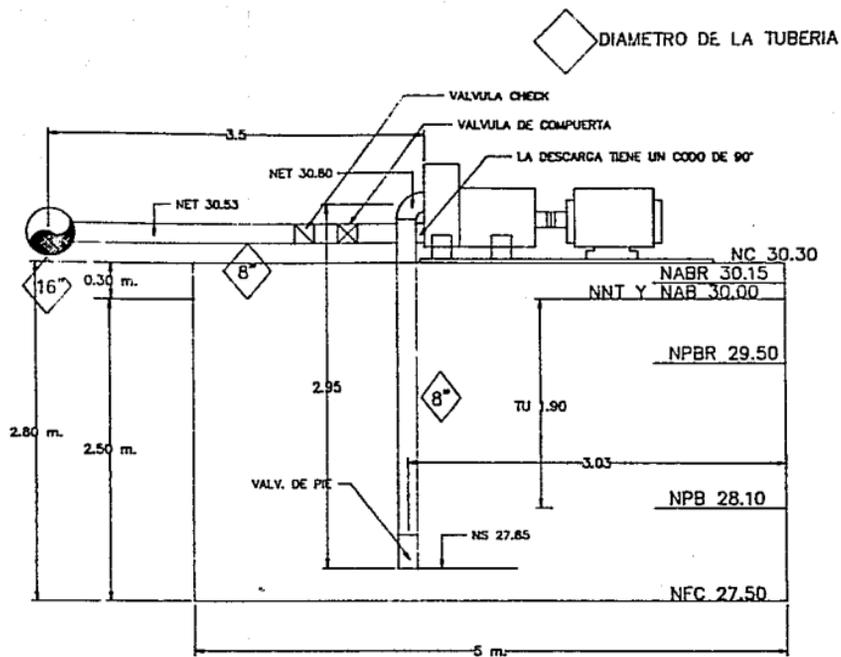


Fig. 4.2 Dimensiones del cárcamo de lodos (vista de elevación).

Fig. 4.3.- Dimensiones del cárcamo (Vista en planta).



(LAS VALVULAS Y LOS ACCESORIOS SON BRIDADOS)

CAPITULO V.- DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

5.1.- Generalidades.

En este capítulo se realizará el cálculo del diámetro de la tubería de conducción, así como el espesor de la pared de la tubería, estos cálculos se realizarán conforme a los parámetros de diseño dictados por ingeniería ambiental, también se mostrarán algunos sistemas de control y protección para el equipo de bombeo y la tubería.

5.2.- Descripción de la línea de conducción.

La línea de conducción es la que lleva los lodos desde el cárcamo de lodos hasta el tanque de aeración, implica tubería de succión, válvulas y accesorios, así como tubería de descarga, válvulas y accesorios.

5.2.1.- Descripción de la succión.

La tubería de succión se considera desde donde la tubería toma el agua en un recipiente (en este caso el cárcamo de lodos), hasta el ojo del impulsor de la bomba.

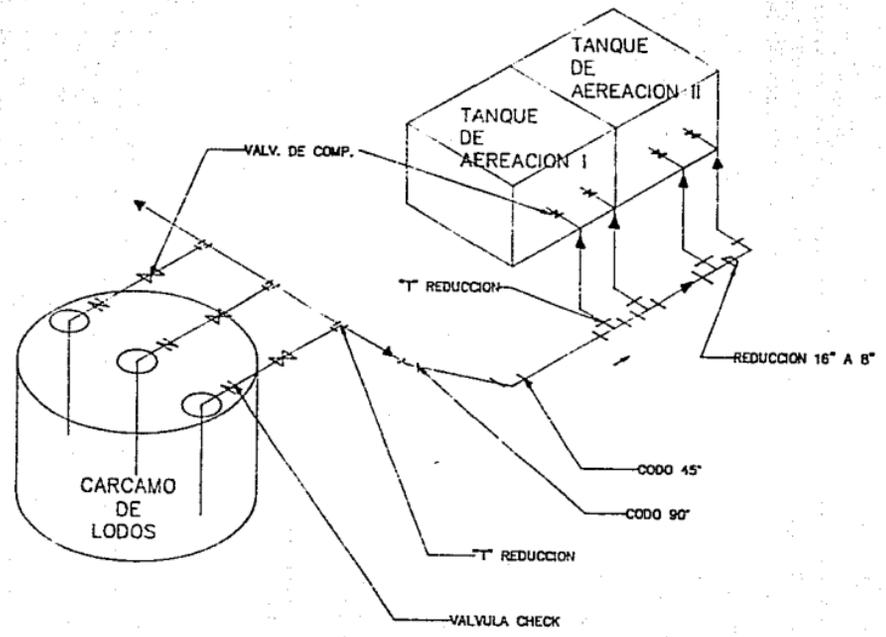
La succión viene considerada por el tamaño de la tubería de la bomba siempre y cuando tenga el diámetro mayor de 0.100 m. (100 mm ya que los parámetros de diseño indican que las conexiones a la bomba deben de ser mayores que el diámetro antes mencionado ya que la experiencia en plantas así lo indica, la bomba que se utilizará (de acuerdo al capítulo III) tiene un diámetro de succión de 0.2032 m. (8 pulgadas) que es mayor al diámetro antes mencionado) ver figura 5.1.

5.2.2.- Descripción de la descarga de la línea de conducción.

La descarga comprende desde la salida del líquido del impulsor de la bomba hasta donde se desea llevar dicho líquido, que en este caso se desea llevar desde el carcamo de lodos hasta los tanques de aeración.

La descarga de la bomba se realiza por tubería de 0.2032 m. (8 pulgadas) de diámetro, que es el diámetro de descarga de la bomba, hasta un múltiple el cual se calculará para mantener la velocidad de flujo requerida (los parámetros de diseño indican que la velocidad de flujo en la tubería de conducción debe ser menor de 0.8 m/seg a 1 m/seg), al llegar la tubería de descarga a los tanques de aeración (dos tanques de aeración por tren de tratamiento de aguas residuales), cada tanque tiene dos entradas de tubería de conducción de lodos activados, se calculará también el diámetro de esas tuberías para mantener la velocidad requerida por los parámetros de diseño (ver figura 5.2).

Fig. 5.2 Descarga de los lodos activados.



5.3.- Restricciones al cálculo y diseño de la línea de conducción de los lodos activados.

La experiencia en plantas de tratamiento dicta que para realizar cálculos y diseño de la línea de conducción para el sistema de recirculación de lodos activados se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- Las líneas de conducción de lodos activados no deben ser menores de 0.150 m. de diámetro (150 mm).
- 2.- La velocidad de flujo en las tuberías de lodos activados no debe exceder de 0.8 m/seg a 1 m/seg.
- 3.- Las conexiones a las bombas no deben ser menores de 0.100 m. de diámetro (100 mm).
- 4.- Las capacidades de caudal de recirculación en las plantas varía del 50 al 75% del caudal de agua residual entrante a la planta (en este tratado se utilizará el 50%).
- 5.- El caudal que se bombea en la línea de conducción es de 0.125 m³/seg.
- 6.- El margen requerido por corrosión en sistemas de agua pretratada es de 0.00127 m. (0.05 pulgada) bajo la norma 150 ANSI.

5.4.- Soporte teórico del cálculo de la línea de conducción.

Para el cálculo del diámetro de la línea de conducción se utilizan las ecuaciones de continuidad para calcular el diámetro de la tubería y la ecuación para determinar el número de cédula que requiere la tubería para soportar las condiciones de operación del sistema de recirculación de lodos activados.

La ecuación de la continuidad dice que el caudal en metros cúbicos por segundo que pasa por una determinada área con una velocidad definida es igual a:

$$Q = V \times A$$

donde:

Q= Caudal en metros cúbicos por segundo (m³/seg).

V= Velocidad de flujo en la tubería en metros por segundo (m/seg).

A= Área de la sección por donde pasa dicho caudal en metros cuadrados (m²).

En este caso la sección por donde pasa el caudal es una sección circular (sección circular de la tubería), por lo tanto el área de la sección circular de la tubería se define como:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

donde:

A= Área de la sección circular de la tubería en metros cuadrados (m²).

π = Valor 3.1416.

D= Diámetro de la tubería en metros (m).

Sustituyendo la ecuación del Área de una sección circular en la ecuación de la continuidad y despejando el diámetro nos queda que el diámetro es igual a:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{Vx}}$$

con esta ecuación encontramos el diámetro de la tubería que se necesita para cumplir con los parámetros de diseño de la tubería de conducción de los lodos activados, es necesario recordar que hay dos entradas por tanque de aeración, y que son dos tanque de aeración por tren de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto, son cuatro tuberías para la alimentación de los tanques de aeración, para esas tuberías también se calculará el diámetro y la cédula (ver fig. 5.2).

Para el cálculo del número de cédula que necesita la tubería se tiene la siguiente ecuación para calcular aproximadamente el número de cédula (la siguiente ecuación está en el sistema inglés, debido a que este sistema es el que rige las normas para tuberías en forma comercial las formulas que utilizaremos para este tratado para el cálculo del espesor de la tubería son regidas según normas ASME).

$$tm = \frac{(D.E.) (P_d)}{(2) (S) + (Y) (P_d)}$$

donde:

P_d = Presión de diseño en lb/pulg² manométricas.

S = El esfuerzo máximo permisible en lb/pulg².

Y = 0.6 Valor recomendado por tablas (USA Standard Code for Pressure Piping).

tm = Espesor teórico en pulg.

D.E. = Diámetro exterior real en pulg.

$$t = \frac{tm}{0.875}$$

donde:

t = Espesor real en pulg.

tm= Espesor teórico en pulg.

5.5.- Descripción del cálculo de la línea de conducción.

1.- Primero se realizarán los cálculos del diámetro de la tubería de descarga, tanto la línea del múltiple recolector de los lodos activados, como las cuatro tuberías de descarga hacia los tanques de aeración, en las cuatro tuberías de descarga hacia los tanques de aeración el caudal se dividirá entre cuatro, ya que el caudal se repartirá en las cuatro tuberías.

2.- Teniendo el diámetro de la tubería se procederá a calcular el número de cédula de la tubería, verificando el espesor y tomando de las tablas de tuberías y su cédula, cual cédula es la más cercana al espesor real de la tubería.

5.6.- Parámetros de diseño.

- 1.- La velocidad en la línea de conducción no debe exceder de 1 m/seg.
- 2.- El caudal de recirculación es de $Q=0.125 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- 3.- El material de la tubería es acero comercial.
- 4.- Presión de operación es de 25 lb/pulg².
- 5.- Presión Máxima de operación (a válvula cerrada) 100 lb/pulg².
- 6.- Temperatura de diseño 68 °F.
- 7.- El esfuerzo máximo permisible $S=12,500 \text{ lb/pulg}^2$ (valor tomado del USA Standard Code for Pressure Piping).

5.7.- Cálculo del diámetro de la línea de conducción.

5.7.1.- Cálculo del diámetro del múltiple de descarga.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0.125 \text{ m}^3/\text{seg})}{(1 \text{ m/seg})(3.14169)}} = 0.3989 \text{ m}$$

Este diámetro en pulgadas es igual a:

$$0.3989m \frac{(1\text{pulg})}{0.0254m} = 15.70\text{pulg}$$

El diámetro comercial superior más cercano es el de 16 pulgadas, por lo tanto este diámetro será el del múltiple de recolección de los lodos activados.

5.7.2.- Cálculo del diámetro de la tubería de descarga hacia los tanques de aeración.

Como se dijo anteriormente son cuatro los tubos que alimentan a los tanques de aeración, por lo tanto, el caudal se dividirá entre los cuatro tubos, para sacar cuanto flujo pasa por cada tubo de alimentación a los tanques de aeración.

$$\frac{Q}{4} = \frac{0.125m^3/seg}{4} = 0.3125m^3/seg$$

teniendo el caudal que pasa por cada tubo de alimentación se calculará el diámetro de las cuatro tuberías:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V \times \pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{(4)(0.3125m^3/seg)}{(1m/seg)(3.1416)}} = 0.1994m$$

Este diámetro en pulgadas es igual a:

$$0.1994m \frac{(1\text{pulg})}{0.0254m} = 7.85\text{pulg}$$

El diámetro comercial superior más cercano a esta medida es el diámetro de 8 pulgadas, por lo tanto ese será el diámetro que utilizaremos para esta tubería.

5.8.- Cálculo de la cédula de las tuberías de la línea de conducción.

5.8.1.- Cálculo de la cédula de la tubería de 16 pulgadas de diámetro.

Calculando el espesor teórico de la tubería tenemos:

$$t_m = \frac{(D.E.) (P_p)}{(2) (S) + (2) (Y) (P_p)}$$

$$t_m = \frac{(16 \text{ pulg}) (25 \text{ lb/pulg}^2)}{(2) (12500 \text{ lb/pulg}^2) + (2) (0.6) (25 \text{ lb/pulg}^2)} = 0.016 \text{ pulg}$$

Calculando el espesor real tenemos:

$$t = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.016 \text{ pulg}}{0.875} = 0.018 \text{ pulg}$$

Calculado el espesor para la máxima presión de operación tenemos:

$$t_m = \frac{(16 \text{ pulg}) (100 \text{ lb/pulg}^2)}{(2) (12500 \text{ lb/pulg}^2) + (2) (0.6) (100 \text{ lb/pulg}^2)} = 0.0636 \text{ pulg.}$$

Calculando el espesor real tenemos:

$$t = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.0636 \text{ pulg}}{0.875} = 0.072 \text{ pulg.}$$

más margen por corrosión que es 0.05 pulg.

$$0.072 \text{ pulg} + 0.05 \text{ pulg} = 0.12 \text{ pulg.}$$

La cédula comercial que se recomienda es la cédula 10 con un espesor de la pared de la tubería de 0.250 pulg.

5.8.2.- Cálculo de la cédula de la tubería de 8 pulgadas de diámetro.

Calculando el espesor teórico de la tubería tenemos:

$$t_m = \frac{(D.E.) (P_p)}{(2) (S) + (2) (Y) (P_p)}$$

$$t_m = \frac{(8\text{pulg}) (25\text{lb/pulg}^2)}{(2) (12500\text{lb/pulg}^2) + (2) (0.6) (25\text{lb/pulg}^2)} = 0.008\text{pulg}$$

Calculando el espesor real tenemos:

$$t = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.008\text{pulg}}{0.875} = 0.009\text{pulg}$$

Calculando el espesor para la máxima presión de operación tenemos:

$$t_m = \frac{(8\text{pulg}) (100\text{lb/pulg}^2)}{(2) (12500\text{lb/pulg}^2) + (2) (0.6) (100\text{lb/pulg}^2)} = 0.031\text{pulg}$$

Calculando el espesor real tenemos:

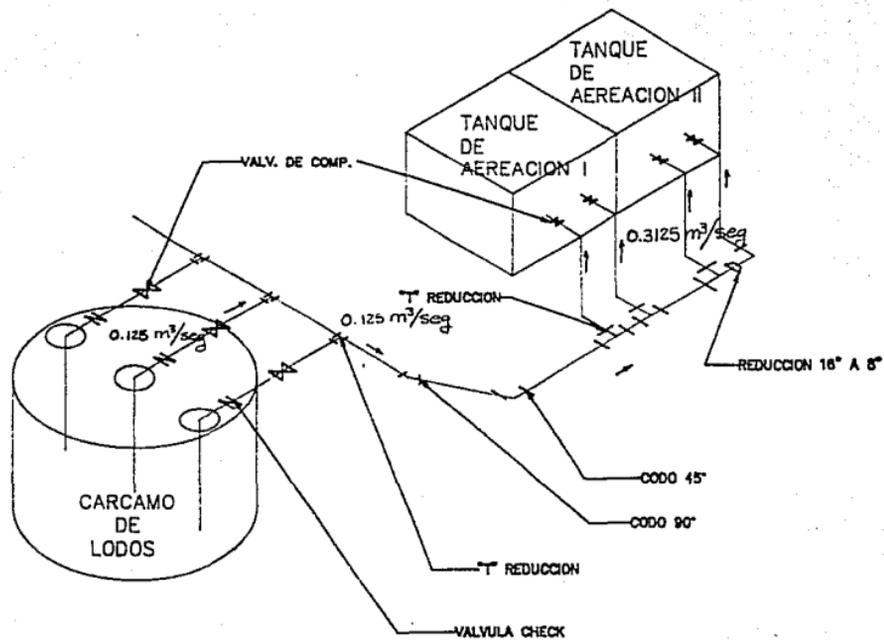
$$t = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.031\text{pulg}}{0.875} = 0.036\text{pulg}$$

más margen por corrosión 0.05 pulg. tenemos:

$$0.036 \text{ pulg} + 0.05 \text{ pulg} = 0.086 \text{ pulg.}$$

La cédula comercial que se recomienda es la cédula 105 con un espesor de pared de tubería de 0.148 pulg.

Fig. 5.3 - Diagrama de flujo y gastos.



5.9.-Elementos de control y protección en la conexión de Bombas.

En las descargas largas de equipos de bombeo, ya sea de una sola unidad o de varias, conectados a una sola tubería común, casi siempre es necesario el uso de ciertos accesorios, cuyo objeto es, unos la de controlar la descarga de las bombas y la de otros, proteger a las tuberías y el equipo de bombeo en general, principalmente del fenómeno llamado golpe de ariete.

A continuación, se comentará en forma somera, la función de algunos de estos dispositivos de control y protección, los cuales se usan con más frecuencia en sistemas de bombeo.

a) Juntas Flexibles.

Son recomendadas para absorber algunos movimientos, en especial el ocasionado por el movimiento de la bomba en funcionamiento, así como pequeños desajustes o desalineamientos en el montaje del equipo; también son empleadas para el desmontaje con facilidad de la unidad de bombeo cuando ésta se requiera. Generalmente son usadas las Juntas Gibault, Dresser u otro elemento similar.

b) Válvulas eliminadoras de aire.

Son instaladas con el objeto de expulsar el aire retenido en la succión cuando la bomba no trabaja. El aire es expulsado luego de iniciarse la operación de la bomba. Se localizan inmediatamente después de la descarga de la bomba, generalmente después de la junta flexible.

El diámetro y características de esta válvula son elegidas en función del gasto de la bomba y de la presión en la tubería. Se seleccionan consultando los catálogos de las casa vendedoras de estos aditamentos.

Estos dispositivos son instalados a lo largo de sistemas de tuberías de descarga muy largas, con quiehres bruscos, tanto horizontales como verticales.

c) Válvulas de Retención.

Se usan con el fin de retener la masa de agua que se encuentra en la tubería, cuando las bombas dejan de operar, con el fin de evitar esfuerzos excesivos en las bombas debido al fenómeno de golpe de ariete. Esto no quiere decir que estas válvulas eliminen este fenómeno, el hecho es que lo atenúan únicamente.

Existen varios tipos de estas válvulas, en la fig. 5.5, se pueden ver los diferentes tipos como son la válvula Check o

también llamada de columpio, la Duo-Check, que consta de dos medias lunas conectadas a un eje vertical, las cuales abren o cierran según el sentido del flujo, la Check que se caracteriza por un cierre más o menos lento con lo cual se consigue prolongar la vida útil de la válvula y eliminar el ruido que producen los otros tipos, suele llamársele también Check silenciosa.

En la selección de un determinado tipo de válvula Check depende de el diámetro de la válvula, de las presiones de operación y del costo de la misma.

d) Válvulas Roto-Check.

La función es la misma que la de las anteriores, su construcción es de dos mitades unidas con pernos, compite en costo con la tradicional Check, se utiliza especialmente para diámetros grandes, la ventaja de ésta es de efectuar el cierre lento y más hermético.

e) Válvulas de Compuerta.

Se emplea con el objeto de aislar determinada sección o elemento de la línea de descarga, para poder realizar reparaciones, inspecciones o mantenimiento, sin interrumpir el servicio de bombeo. Esta válvula evita también el regreso del flujo por alguna otra bomba que no opere (cuando un sistema de bombas opere parcialmente por las necesidades de la planta).

Estas válvulas son instaladas también para fines de desagüe en depresiones o columpios más o menos largos de la tubería de descarga.

Los tipos más empleados de esta válvula son los que se muestran en la fig. 5.5 y se caracterizan por ser bridadas y con el vástago saliente, es decir que éste se desplaza según su eje vertical. Esta característica es de gran utilidad ya que se puede verificar con facilidad si la válvula está abierta o cerrada.

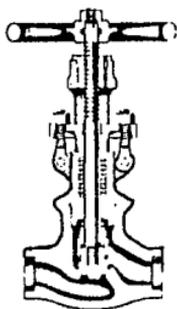
Se debe señalar que la válvula de compuerta está diseñada para cerrar o abrir en su totalidad el sistema que se desee de la línea de conducción, y no para regular el flujo, esto solo se realizará en casos eventuales.

f) Válvulas de Mariposa.

Estas válvulas, (como la mostrada en la fig. 5.5) se utilizan en sustitución de las de compuerta, para diámetros grandes y presiones bajas en las líneas, las ventajas que tiene es la de ser más ligera y más barata. Se opera por medio de una flecha que acciona un disco haciéndola girar centrado en el cuerpo de la válvula; su operación puede ser: manual,

semiautomática o automática, mediante dispositivos neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

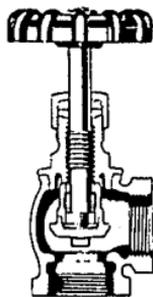
El diseño de esta válvula permite usarla como reguladora de gasto, y en ciertos casos para estrangular la descarga de la bomba. (fig. 5.5.)



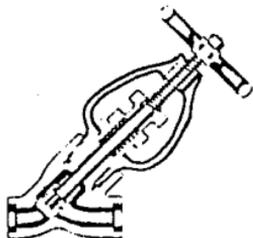
Válvula de globo convencional



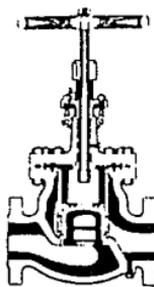
Válvula de globo convencional con obturador guedao



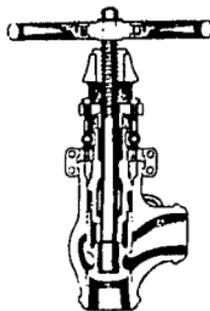
Válvula angular de globo convencional



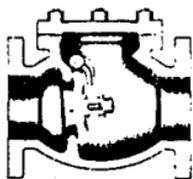
Válvula de globo, modelo en Y con vástago a 45°



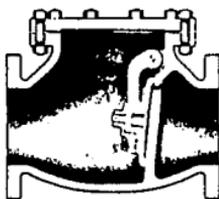
Válvula de retención y cierre, de peso recto



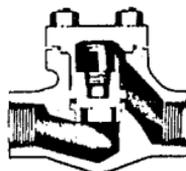
Válvula de retención y cierre, de peso angular



Válvula de retención convencional, de obturador escalante



Válvula de retención de peso total con obturador escalante



Válvula de retención de peso recto, con obturador escalante

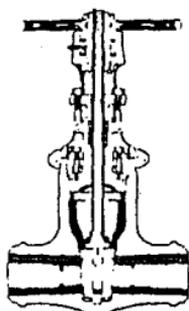
Fig. 5.5 a.-Válvulas.



Válvula de compuerta de cuña (tapa alombrada)



Válvula de mariposa de rendimiento alto



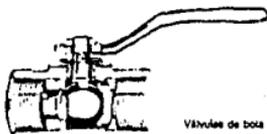
Válvula de compuerta de cuña flexible (tapa con sello a presión)



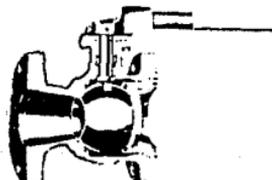
Válvula de compuerta de cuña (tapa alombrada)



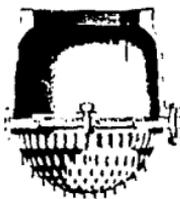
Válvula de mariposa sin bronce



Válvula de bola



Válvula de plato oscilante y ascendente



Llave de tres vías
Vistas exterior y en sección



Fig. 5.5 b.- Válvulas.

g) Válvulas de alivio contra golpe de ariete.

Las válvulas de alivio de presión son utilizadas para proteger al equipo de bombeo, tuberías y además elementos en la conexión contra cambios bruscos de presión los cuales son producidos por paro o arranque del equipo de bombeo.

El diseño de la válvula, le permite abrirse o cerrarse automáticamente y descargar al exterior, cuando la presión es mayor a la que fue calibrado el sistema. El cierre también es automático, cuando la presión es inferior a la de calibración del sistema.

Casi todas las válvulas de alivio en el mercado tienen el mismo diseño, su construcción se basa en dos partes, cuerpo de la válvula y los mecanismos de control. En el cuerpo se localiza el elemento actuador, constituido por un pistón cuya posición regula el funcionamiento de la válvula. El control del pistón se realiza por medio de una válvula piloto, calibrada a una presión determinada, que no es más que una válvula de aguja de precisión para pequeños flujos. El piloto control de la válvula puede ser hidráulico, eléctrico o de ambos tipos.

Las usadas con más frecuencia son las de pistón y diafragma, preferentemente con ambos tipos de control. Ambas funcionan satisfactoriamente, pero las de pistón se prefiere por requerir de menos mantenimiento que la otra.

El diámetro de la válvula se determina en función del gasto de escurrimiento en el tubería a la que se conectará, de las presiones originadas principalmente por el golpe de ariete.

Se localiza después de los elementos de control al principio de la tubería de descarga común.

h) Otros Accesorios.

Para el montaje de los accesorios de control y operación son necesarios las llamadas "piezas especiales" que pueden ser de hierro fundido o de acero, como son: codos, Tés, reducciones o ampliaciones, carretes, extremidades, etc.

Por lo general u ordinariamente, la descarga de la bomba se conecta a una tubería principal, haciendo coincidir sus ejes como en la fig. 5.6. El hacer coincidir los ejes en el montaje se hace por comodidad, sin embargo para evitar en lo posible que el material en suspensión se deposite en los mecanismos que se encuentran antes de la conexión, se sugiere hacer la unión de las tuberías a la tubería principal, por la clave o lomo como se ve en la fig. 5.6. Esta forma de unión es más recomendable para el manejo de aguas con gran cantidad de materiales en suspensión.

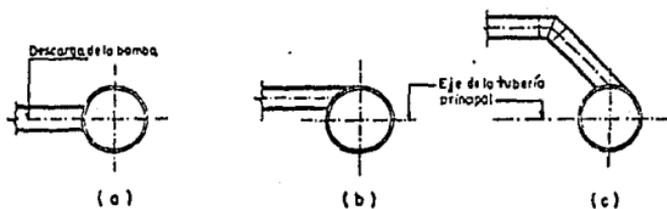
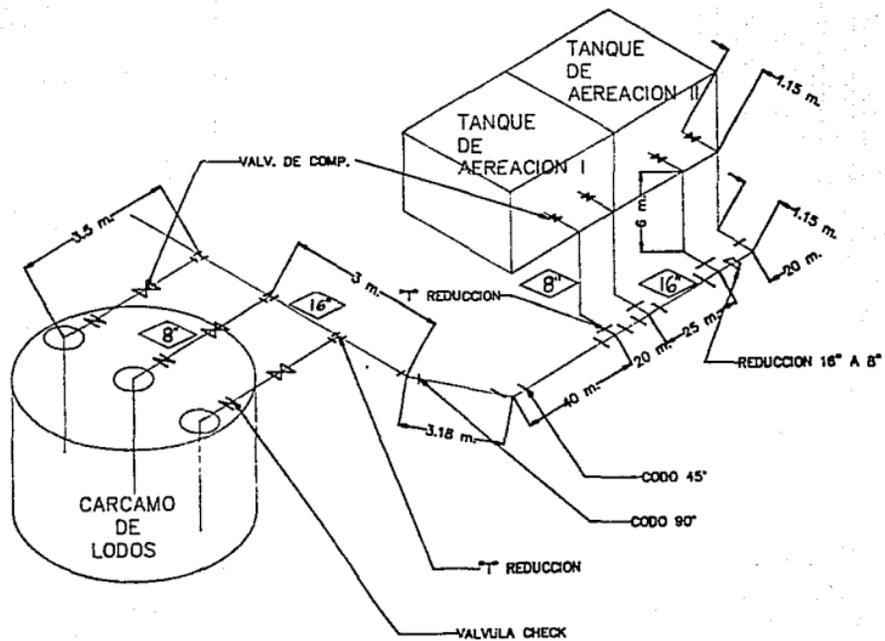


Fig. 5.6.- Unión de Tuberías.

Fig. 5.6.- Diagrama final de la tubería.



CAPITULO VI.- CALCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO.

6.1.- Generalidades.

En este capítulo se determinará la potencia de la bomba, el cálculo para ello se realizará en base a la ruta crítica de los lodos en la tubería, también se determinarán las pérdidas por rozamiento en tuberías y accesorios para la ruta crítica, y se realizará el análisis de la Carga Neta de Succión Positiva (CNSP) para determinar el óptimo funcionamiento del equipo de bombeo. Asimismo se determinarán los niveles para determinar la carga neta total de bombeo y así determinar la potencia del equipo de bombeo (el tipo del equipo de bombeo será el cotizado, analizado y seleccionado en el capítulo III de este tratado).

6.2.- Soporte teórico para el cálculo del equipo de bombeo.

Al estudiar lo relativo al equipo de bombeo, se encuentran algunos términos usados con frecuencia, y que se deben mantener claros. Los que mencionaremos a continuación, así como la descripción somera de la razón del cálculo son los más empleados y están de acuerdo a la práctica usual.

6.2.1.-Presión.

a) Presión Atmosférica.- También llamada presión barométrica, por los aparatos (barómetros) que se usan para medirla y es aquella que se tiene en un lugar debido al peso de la atmósfera, por lo cual varía con la altura en relación al nivel del mar, teniendo a cero metros un valor de 1.033 Kg/cm^2 (en condiciones normales), que corresponden a una columna de mercurio de 0.760 m. ó a 10.33 m. de columna de agua. (fig. 6.1 y 6.2).

b) Presión Manométrica.- Es la presión que se tiene en una superficie sin considerar la presión atmosférica y por ello suele llamársela también presión relativa.

c) Presión Absoluta.- Se llama así a la presión resultante de considerar la atmosférica más aquella que producen otras causas o sea la manométrica. Se mide arriba del cero absoluto y puede estar arriba o abajo de la presión atmosférica.

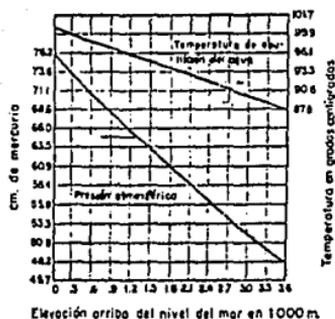


Fig. 6.1.- Presiones atmosféricas para altitudes hasta 3660 metros.

d) Presión Negativa.- Cuando la presión absoluta es menor que la atmosférica se dice que se tiene una presión negativa o vacío. Un ejemplo es el siguiente:

Si se introduce un tubo, abierto en los dos lados, a un recipiente con agua (fig. 6.2); el nivel será igual dentro y fuera del tubo. Si con una bomba se extrae el aire por su parte superior, el agua subirá dentro del tubo, debido a la presión atmosférica y al vacío efectuado, hasta una altura igual a la del barómetro en ese lugar, suponiendo un vacío perfecto y despreciando la tensión del vapor de agua. En estas condiciones, la presión absoluta en A, (P_1) será igual a la presión manométrica. Esta presión con relación a la de B (P_2) es mayor en un valor correspondiente a la carga hidrostática h , por lo tanto:

$$P_1 = P_2 + dh$$

siendo d el peso específico del agua.

Luego:

$$P_2 = P_1 - d(h) - P_1$$

puesto que P_1 es igual a la presión atmosférica.

Por lo tanto:

$P_2 = -d(h)$; y la carga será:

$$-\frac{d(h)}{d} = -h$$

A esta carga también se le llama de vacío o de succión.

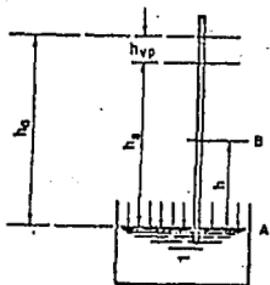


Fig. 6.2.- Presión Negativa.

Límite de la carga negativa.- Si h_s es la altura que corresponde a la presión barométrica y h_v es la equivalente a la tensión del vapor, la altura límite de la columna (h_c) será:

$$h_c = h_s - h_v$$

Aún cuando la bomba extractora de aire, continuara trabajando después de que el agua alcanzó la altura h_s , el nivel dentro del tubo ya no subiría más y lo que se consigue es extraer el vapor de la superficie dentro del tubo. Cuando el líquido se llegara a calentar la altura h_c descendería por que h_v aumenta y en el punto de ebullición h_c valdría cero.

Por lo anterior, la carga negativa máxima que puede tenerse depende de la presión barométrica del lugar y de la tensión del vapor según su temperatura. Al nivel del mar, la altura de succión máxima teórica es de 10.33 m.

e) Presión de vapor.- Es la presión que ejerce el vapor de la superficie libre de un líquido cuando éste se encuentra a una temperatura arriba de su congelación. También se define como la presión a la cual se evapora un líquido, si se le agrega calor o a la que el vapor de una cierta temperatura se condensa a líquido, si se le quita calor.

En el caso del agua, la presión de vapor tiene valores definidos a cualquier temperatura y se pueden ver en las tablas de vapor. Al convertir las presiones de vapor en carga en metros, se debe considerar la temperatura del agua bombeada.

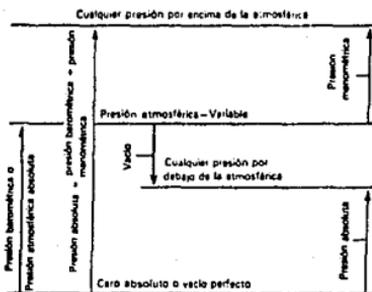


Fig. 6.3 -PRESIONES- Relación de términos empleados.

f) Unidades de presión.- Las unidades de presión se expresan en términos de unidades de fuerza entre unidades de superficie, o bien en metros de columna de líquido, correspondiente al peso específico del líquido considerado.

En problemas de bombeo de agua, se acostumbra expresarlas en metros y es usual trabajar con presiones manométricas tales como:

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 10 \text{ m. de col. de agua} = 1 \text{ atm. métrica.}$$

$$0.10 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ m. col. de agua} = 3.28 \text{ pies.}$$

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 14.233 \text{ lbs/pulg}^2 = 32.808 \text{ pies.}$$

6.2.2.- Columna o carga total de bombeo.

Definición.- En un sistema de bombeo, se le da el nombre de columna o carga total, a la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro.

De acuerdo con lo anterior, la carga total (H) para una bomba centrífuga horizontal, es igual a la diferencia entre la carga de descarga (H_d) y la carga de succión (H_s) es decir:

$$H = H_d - H_s \quad (1)$$

En la fig. 6.4 se representan dos casos típicos de instalación de bombas centrífugas horizontales que difieren entre sí por lo siguiente:

En la fig. 6.4 a. la bomba se localiza en un nivel superior al de la superficie del agua en la succión actuando únicamente la presión atmosférica, tanto en la succión como en la descarga. En la fig 6.4 b, la bomba se encuentra a un nivel inferior al del agua en la succión, y además se supone que, en la succión o en la descarga o bien en ambas, actúa una presión P_s y P_d respectivamente, que es diferente a la atmosférica.

Para la fig. 6.4 a, que es un sistema de bombeo con elevación, la ecuación será:

$$H = H_d + H_s$$

donde:

$$H_d = h_d + h_{fs} + h_{vs} + P_s$$

y

$$H_s = h_s - h_{fs} + P_s$$

Para la fig. 6.4 b, que es un sistema de bombeo con carga, la ecuación será:

$$H = H_s - H_v$$

donde:

$$H_s = h_f + h_{r,s} + h_{v,s} + P_s$$

y

$$H_v = h_f - h_{r,v} + P_v$$

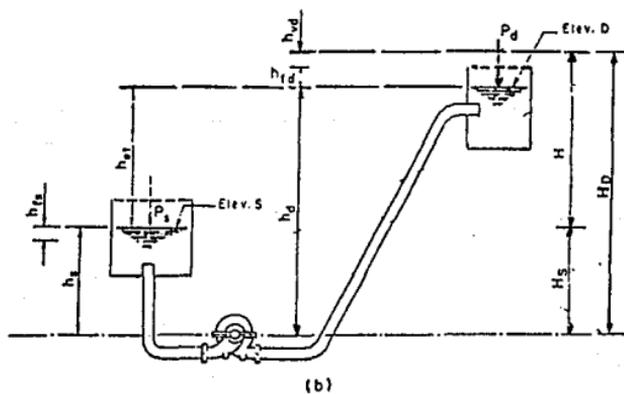
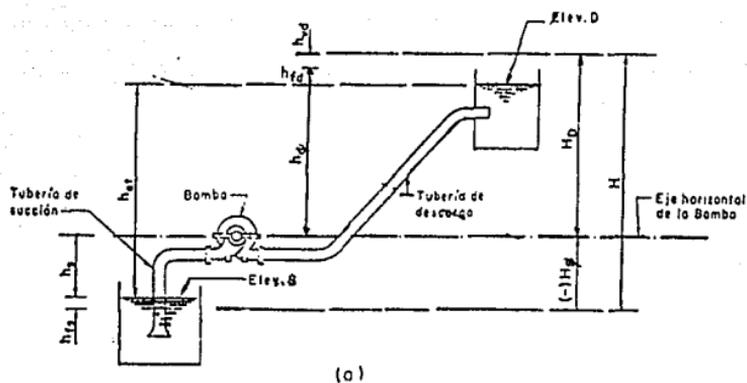


Fig. 6.4.- Instalaciones típicas de bombas centrífugas horizontales.

En las expresiones anteriores, los términos utilizados representan lo siguiente:

- H = Carga total.- Suma de las energías que se tienen en el sistema cuando trabaja la bomba a determinada capacidad. Se expresa en metros de columna absoluta o manométrica. Usualmente se utiliza en unidades manométricas.
- H_s = Elevación de succión o carga de succión.- Se le da el primer nombre cuando la bomba se localiza arriba del nivel del agua en la succión (como en el caso 6.4 a), y el segundo, si la elevación de ese nivel es superior al sitio de la bomba (caso 6.4 b).
- Su valor es igual a la carga estática de succión, menos todas las pérdidas de energía que se tenga en la succión más alguna otra presión (diferente a la atmosférica) que se tenga en ese sitio, convertida naturalmente en metros de columna de agua.
- h_s = Elevación estática de succión o carga estática de succión.- Recibe uno u otro nombre según la posición de la bomba, que ésta esté arriba o abajo del nivel libre del agua en la succión.
- Su valor es igual a la diferencia de elevaciones entre el eje horizontal de la bomba y la superficie del agua en el suministro.
- h_{fs} = Carga de fricción en la succión.- es la carga equivalente en metros, que se necesita para vencer todas las pérdidas de energía debidas al flujo en la tubería de succión.

Las pérdidas son principalmente:

Pérdidas por entrada.- Su magnitud dependerá del diseño del extremo de la tubería en la entrada del agua, por lo que es recomendable un abocinamiento para disminuir su valor. También dependerá de los accesorios, como, válvulas y coladeras que se tengan a la entrada.

Pérdidas por accesorios.- Es debida a codos, válvulas, etc., que se tengan en la succión. Se acostumbra incluir esta pérdida en el cálculo de la fricción, para lo cual se expresa en longitud equivalente a la tubería que se use.

- H_d = Carga de descarga.- Es la suma de las cargas estáticas (h_{ds}), de fricción (h_{fd}) y de velocidad (h_{vd}) en la línea de descarga. Ocasionalmente se considera la presión P_d diferente a la atmosférica

que se pudiera tener en el sitio de la descarga. Ordinariamente, tanto la carga (H_s) como la de succión (H_a) se expresan con relación al eje horizontal de la bomba; sin embargo puede tomarse como referencia otra elevación haciendo la aclaración correspondiente.

En la fig. 6.5 se tienen tres casos de descarga. En la fig. a), la carga estática (h_d) de descarga, es mayor que como se define generalmente; en la fig. c), se suma con signo negativo ya que actúa en favor del escurrimiento y en la fig b), se muestra un caso típico de descarga con sifón.

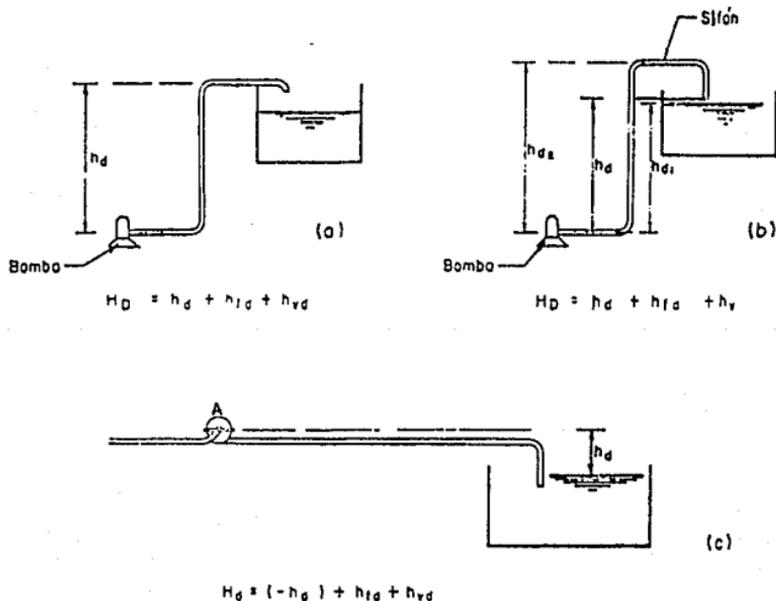


Fig. 6.5 - Descargas típicas.

Descarga con sifón.- Se usa este tipo de descarga, con el objeto de reducir la columna o carga total de la bomba durante la operación, aprovechando la forma de trabajo de este dispositivo; se consigue por lo tanto, reducir la potencia y probablemente un equipo de menor capacidad.

Lo que se recomienda en estos casos es estudiar la ayuda que puede dar el sifón y las pérdidas por fricción que se deben incluir en la columna de descarga. Además, en su diseño se debe prever la eliminación del aire en su interior cuando empieza a operar la bomba (por ejemplo instalando en la cresta una válvula de aire) para que se establezca el flujo, ya que si esa eliminación no se efectúa, la bomba operaría contra la carga estática (h_s), dando por resultado una carga mayor que la de su operación normal o deseada.

También se debe prestar cuidado en el valor de la presión que se tendrá en la cresta del sifón para posibles condiciones de operación; esta presión, deberá ser siempre mayor que el valor correspondiente al vapor del agua bombeada, para evitar la evaporación y consecuentemente un fenómeno semejante al de la cavitación, en ese sitio.

La altura máxima que puede tener la pierna de un sifón depende principalmente de la presión atmosférica ese lugar, del gasto y del tamaño de la tubería.

h_s = Carga estática de descarga.- Es la diferencia de elevación entre el nivel libre del agua en la descarga y el eje horizontal de la bomba.

Esta medida vertical se define así, porque generalmente la terminal de la tubería se soga con el objeto de disipar la energía de velocidad o evitar la entrada del aire en ella, pero como en el caso de la fig. 6.5 a), la carga real es la distancia h_r o sea que debe considerarse la elevación del eje horizontal de tubería antes del codo o bien la correspondiente a la clave de dicha tubería.

h_{st} = Carga estática total.- En general, la columna estática total de una bomba es la diferencia de la elevación de descarga y la elevación del nivel del agua en la succión.

En el caso 6.4 a), será igual a la suma aritmética de la elevación de succión (h_s) y la carga estática de descarga (h_d). Cuando el nivel de succión es superior al del eje horizontal de la bomba (fig.

6.4 b)), su valor estará dado por la diferencia entre la carga estática de descarga y la carga estática de succión.

h_{fs} = Carga de fricción en la descarga.- Incluye todas las pérdidas de energía que se tienen a partir de la boquilla de la bomba y en la tubería de descarga. Estas pérdidas son debidas a la fricción a lo largo de dicha tubería, a cambios de dirección y a todos los accesorios que se tengan en la misma.

h_{vd} = Carga de velocidad en la descarga.- Puede definirse como la altura de la cual, una cantidad de agua debe caer para adquirir una cierta velocidad. Su valor se calcula con la siguiente igualdad:

$$h_{vd} = \frac{v^2}{2g}$$

h_{vd} = Carga de velocidad en m.

v = Velocidad del agua en la tubería de descarga en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad igual a 9.81 m/seg².

Esta carga equivale a la energía cinética que se tiene en un sistema de bombeo. Por lo tanto, para conocer el valor de la columna total (suma de energías cinéticas y potencial), a la lectura manométrica en un aparato instalado en cualquier punto de una tubería en funcionamiento, deberá sumársele a la carga de velocidad ya que un manómetro sólo registra lo relativo a la energía potencial.

En general su valor es relativamente pequeño y considerado en la determinación de la columna total, no afecta substancialmente el valor final. Se ha observado, prácticamente, que en instalaciones con columnas grandes, su valor es menos digno de tomarse en cuenta; pero cuando se tienen columnas relativamente pequeñas, siempre se debe considerar.

6.2.3.- Carga neta de succión positiva (CNSP O NPSH).

Se define como la presión disponible o requerida para establecer un flujo a través del elemento de succión al ojo del impulsor o carcasa de una bomba, cuyo valor nunca deberá reducirse al correspondiente a la presión del vapor del líquido manejado. Se expresa en metros de columna del líquido bombeado equivalente a una presión en Kg/cm.

Se ha observado (lo dicen las autoridades relacionadas con

problemas de bombeo) que una determinación incorrecta de la C.N.S.P. puede ocasionar fundamentalmente problemas de cavitación en menor o mayor grado, disminución de la eficiencia de las unidades y por ende, problemas en la operación de un sistema de bombeo.

Antes de seguir adelante, se hace la aclaración que es usual en los fabricantes de bombas emplear las siglas del nombre en inglés de este concepto o sea N.P.S.H. (Net Positive Suction Head).

C.N.S.P. Requerida.- Es una función del diseño de la bomba, varía entre las diferentes marcas y tipos, así como entre las bombas de la misma marca, varía también con la capacidad, velocidad y naturaleza del líquido, etc. A medida que el líquido pasa desde la succión de la bomba hasta el ojo del impulsor, la velocidad aumenta y la presión disminuye. También hay pérdidas de presión debidas a los choques y turbulencias a medida que el líquido toca el impulsor.

Por otra parte la fuerza centrífuga de las aspas del impulsor aumenta la velocidad y disminuye la presión del líquido. El N.P.S.H., requerido es por consiguiente la carga positiva en m. absolutos en la succión de la bomba necesaria para vencer esta pérdida de presión y mantener al líquido arriba de su presión de vapor.

C.N.S.P. Disponible.- Es una función del sistema en el que trabaja la bomba y puede ser calculado para cualquier instalación. En cualquier instalación de bombeo, debe siempre disponerse de un valor igual o mayor al C.N.S.P. requerido para obtener una operación satisfactoria y confiable.

C.N.S.P. Disponible en casos típicos.- A continuación se dan las expresiones matemáticas para el cálculo de la C.N.S.P. disponible, de acuerdo con los esquemas de bombeo de la fig. 6.6.

En las siguientes igualdades todos los términos se expresan en metros y significan lo siguiente:

- (CNSP)_d = Carga neta de succión positiva disponible.
- P_{at} = Presión absoluta.
- P_v = Presión de vapor de agua a la temperatura de bombeo.
- H_{at} = Carga equivalente a la presión absoluta.
- h_b = Carga correspondiente a la presión barométrica o atmosférica.
- H_s = Carga de succión.
- h_f = Carga de fricción en la succión.

CASO I

Nivel del agua en la succión, expuesta a la presión atmosférica y arriba del eje horizontal de la bomba.

$$\begin{aligned} (\text{CNSP})_4 &= P_{4a} - P_v \quad (a) \\ P_{4a} &= H_{4a} = h_1 + H_s \end{aligned}$$

pero:

$$H_{4a} = h_s + h_2 - h_{1s} \quad (b)$$

Sustituyendo (b) en (a):

$$\begin{aligned} (\text{CNSP})_4 &= h_1 + h_s - h_{1s} - P_v \\ (\text{CNSP})_4 &= h_1 + h_s - (h_{1s} + P_v) \quad (I) \end{aligned}$$

CASO II

Nivel del agua en la succión, expuesta a la presión atmosférica y abajo del eje horizontal de la bomba.

$$\begin{aligned} (\text{CNSP})_4 &= P_{4a} - P_v \quad (a') \\ P_{4a} &= H_{4a} = h_1 + H_s \end{aligned}$$

pero:

$$H_s = -h_s - h_{1s}$$

Luego:

$$H_{4a} = h_1 - h_2 - h_{1s} \quad (b')$$

Sustituyendo (b') en (a')

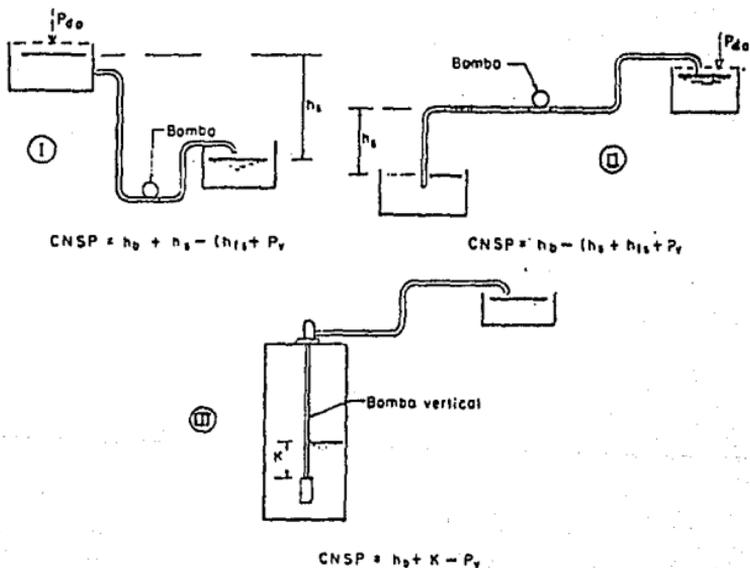
$$\begin{aligned} (\text{CNSP})_4 &= h_1 - h_s - h_{1s} - P_v = h_1 - (h_s + h_{1s} + P_v) \quad (II) \\ (\text{CNSP})_4 &= h_1 - (h_s + h_{1s} + P_v) \end{aligned}$$

CASO III

Los casos uno y dos pero existiendo en el suministro o succión una presión diferente a la atmosférica.

Cuando se tiene esta característica el valor de h_s (presión barométrica) se sustituye por la que realmente se tiene. Por lo tanto las expresiones I y II para los casos correspondientes serán, si P_{4a} es aquella presión:

$$\begin{aligned} (\text{CNSP})_4 &= P_{4a} + h_s - (h_{1s} + P_v) \quad \text{Caso I.} \\ (\text{CNSP})_4 &= P_{4a} - (h_s + h_{1s} + P_v) \quad \text{Caso II.} \end{aligned}$$



Si existe (P_{atm}) sustitúyase h_b por ese valor.

Fig. 6.6 -CNSP Disponible en casos típicos.

6.2.4.- Otros términos.

a) Nivel dinámico.- Se acostumbra llamar así, al nivel del agua en el suministro cuando opera la bomba.

Este término es más propio y usual en problemas de bombeo de agua subterránea, porque en este caso si hay una diferencia, generalmente notable, entre el nivel estático del acuífero, que es cuando no trabaja el equipo, y el que se tiene en el pozo estando funcionando aquél.

b) Cavitación.- Cuando en el seno de un líquido en movimiento, la presión local se reduce a la correspondiente al vapor de ese líquido a la temperatura dominante, se presenta la formación de bolsas de vapor que desaparecen subitamente al entrar en esa zona donde la presión tiene un valor tal, que se condensan en la bomba, es decir, se tornan a líquido suavemente. A este fenómeno de formación y desaparición rápida de cavidades llenas de vapor del líquido que fluye porque pasa de una baja a una alta presión, se le llama cavitación.

La cavitación en las máquinas hidráulicas ocasiona una disminución de su rendimiento, ruido, vibración y generalmente las erosiona. Esto último hizo pensar a los investigadores que este fenómeno era de naturaleza química (debido a la oxidación) o electrolítica. Sin embargo, de acuerdo con los estudios y observaciones realizados al respecto se ha comprobado y aceptado que más bien su naturaleza es mecánica, ya que también se llega a presentar en materiales como la madera, el concreto y hasta el vidrio.

Cuando las bolsas de vapor se originan en la succión o entrada del impulsor de una bomba, las burbujas son arrastradas al interior de los alabes, sufriendo así un cambio de alta a baja presión y por lo tanto, se condensan súbitamente, originando al mismo tiempo una implosión. El proceso en sí y su repetición constante causa un choque de fuerte presión en las superficies metálicas de tal suerte que pueden llegar a provocar fatigas de ruptura del material y consecuentemente la picadura y erosión del mismo, ésto además de que se reduce el rendimiento, se produce ruido y vibraciones perjudiciales.

De acuerdo con lo anterior, lo primero que se nos ocurre pensar para evitar la cavitación en bombas, es no dar lugar a la vaporización del agua, en otras palabras, mantener siempre en la succión una presión arriba de la del vapor de agua y concretamente contar con un CNSP suficiente. Además de cuidar este concepto, algunos fabricantes recomiendan otras medidas prácticas como las siguientes en bombas horizontales:

- 1.- Cargas mucho menores que las correspondientes a la máxima eficiencia.
- 2.- Capacidad mucho mayor que la que se tiene con la máxima

eficiencia.

- 3.- Elevación de succión mayor o CNSP menor que la que recomendada por el fabricante.
- 4.- Temperaturas del líquido mayores que las consideradas en el diseño del sistema.
- 5.- Velocidades superiores que las recomendadas por el fabricante.

y en bombas verticales se sugiere tener:

- 1.- Cargas mayores que la correspondiente a la máxima eficiencia.
- 2.- Capacidad mucho menor que la correspondiente a la máxima eficiencia.
- 3.- Los puntos 3, 4 y 5 anotados anteriormente.

c) Altura máxima de succión.- Teóricamente es la diferencia entre la carga manométrica del lugar (h_s) y la carga correspondiente a la presión de vapor de agua (h_v) a la temperatura ambiente, es decir:

$$h_t = h_s - h_v \text{ (succión teórica máxima)}$$

Pero en la instalación de una bomba centrífuga horizontal se deberá considerar además de los conceptos anteriores, las cargas de velocidad (h_{v_s}) y de fricción en la succión (h_{f_s}). Por lo tanto se tiene que:

$$h_{m\acute{a}x.} = h_s - h_v - h_{v_s} - h_{f_s}$$

Se recomienda que principalmente en el caso de querer aprovechar la altura máxima de aspiración en un proyecto, se consulte lo relativo, con el fabricante de la bomba, además de haberla calculado.

Generalmente, el dato práctico es menor que el que se encuentra con la expresión anterior, con el objeto de tener un margen más de seguridad para evitar el mal funcionamiento, cavitación, etc.

6.2.5.- Ecuación general de energía (teorema de Bernoulli).

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como

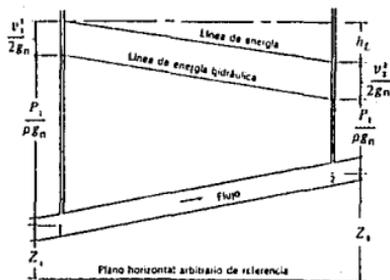


Fig. 6.7.- Balance de energía para dos puntos de un fluido.

referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho g_n} + \frac{v^2}{2g_n} = H$$

donde:

- Z= nivel de altura con respecto a un plano horizontal arbitrario en metros.
- P= Presión manométrica en el punto donde se tomo la altura Z en pascales (Newtons por metro cuadrado).
- ρ = Densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (Kg/m^3).
- v= Velocidad del flujo del fluido en la tubería en metros por segundo (m/seg).

g_n = Aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado (m/seg²).

H = Altura total expresada en metros de columna del fluido.

Si se despreciaran las pérdidas por rozamiento y no se aporta o toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura H de la ecuación anterior se mantendría constante para cualquier punto del fluido. En la realidad existen pérdidas que se deben incluir en el teorema de Bernoulli, por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido, como se indica en la figura 6.7.

Se nota en esta figura que la pérdida por rozamiento (h_L) o fricción desde el punto uno al punto dos se expresa como la pérdida de altura en metros de fluido. La ecuación se puede escribir de la siguiente forma:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g_n} + \frac{v_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g_n} + \frac{v_2^2}{2g_n} + h_L$$

donde:

h_L = Pérdida de carga debido al flujo del fluido, en metros de columna del fluido.

Z = nivel de altura con respecto a un plano horizontal arbitrario en metros.

P = Presión manométrica en el punto donde se tomó la altura Z en pascales (Newtons por metro cuadrado).

ρ = Densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (Kg/m³).

v = Velocidad del flujo del fluido en la tubería en metros por segundo (m/seg).

g_n = Aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado (m/seg²).

Todas las fórmulas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas a la fricción o rozamiento del fluido en las tuberías.

6.2.6.- Ecuaciones para el flujo de fluidos en conductos a presión.

Para el estudio del flujo de fluidos en conductos a presión, se necesitan conocer los diferentes tipos de flujos, éstos son turbulento y laminar.

Osborne Reynolds (1883) en base a experimentos logró un criterio para distinguir los flujos mediante un número que lleva su nombre, este número permite evaluar la preponderancia de las

fuerzas viscosas sobre las de inercia.

El número de Reynolds se define de la siguiente manera:

$$Re = \frac{VD}{\mu}$$

donde:

Re = Número de Reynolds (adimensional).

V = Velocidad media de flujo en la tubería en metros por segundo (m/seg).

D = Diámetro del conducto (tubería) en metros.

μ = Viscosidad cinemática del fluido en metros cuadrados por segundo (m²/seg).

Reynolds encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando Re ha rebasado un valor crítico, para volverse turbulento después.

Los parámetros de valores del número de Reynolds se fijaron como sigue para los diferentes tipos de flujos:

Re < 2000 laminar.
2000 < Re < 4000 transición.
Re > 4000 turbulento.

Las ecuaciones de pérdidas de fricción en tuberías se basan en el conocimiento de tipo de flujo y las siguientes ecuaciones son la que se utilizan para calcular la pérdida de fricción en conductos:

Tabla 6.1.- Formulas aplicables al cálculo de pérdidas por fricción, aplicables al flujo de agua en conductos a presión. (unidades en el Sistema Internacional SI).

Tipo de tubería y flujo	Autor	Fórmula	Observaciones
Cualquier tipo de tubo y flujo.	Darcy-Weisbach	$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$	la Ec. es de tipo universal; f se obtiene del diagrama universal de Moody, o de alguna de las fórmulas indicadas a continuación.
Tubos lisos o rugosos en la zona laminar.	Poiseuille	$f = \frac{64}{R_e}$	se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para $R_e < 2300$.
Tubos lisos en la zona de transición o turbulenta.	Blasius	$f = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}}$	se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. Vale para tubos de aluminio, latón, cobre, plomo, plástico, vidrio y asbesto-cemento para $R_e > 10^4$.
	Nikuradse	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{R_e \sqrt{f}}{2.51} \right)$	se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. Vale para $2.3 \times 10^4 \leq R_e \leq 3.4 \times 10^5$.
	Kozeny	$f = \frac{2g}{(7.78 \log R_e - 5.95)^2}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para tubos de asbesto-cemento y para $R_e > 4000$.
	Richter	$f = 0.01113 + 0.917/R_e^{0.41}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para tubos de hule y para $R_e > 4000$.
	Ludin	$V = 140 R_e^{0.448} S_f^{0.10}$	Vale para tubos de asbesto-cemento. En esta fórmula R_e es el radio hidráulico del tubo.

Tabla 6.1.- Formulas aplicables al cálculo de pérdidas por fricción, aplicables el flujo de agua en conductos a presión. (unidades en el Sistema Internacional SI).

Tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta.	Colebrook-White	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R_s \sqrt{f}} \right)$	vale para tubos lisos o rugosos en la zona de transición o turbulenta y con $R_s > 4000$. Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach.
	Hazen-Williams	$V = 0.355 C_H D^{0.85} S_f^{0.54}$	Es la fórmula más común para tubos rugosos. C_H depende del material del tubo de acuerdo con la tabla 8.4.
Tubos rugosos en la zona turbulenta.	Nikuradse	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{371 D}{\epsilon}$	se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach.
	Koznev	$f = \frac{2\epsilon}{(8.86 \log D + N)^2}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. N depende del material en la tubería
	Chzy	$V = C \sqrt{R_s S_f}$	Es la fórmula general para este tipo de tubos y se obtiene de la fórmula de Darcy-Weisbach
	Bazin	$C = \frac{87}{1 + \Delta/\sqrt{R_s}}$	Se aplica a la fórmula de Chzy, donde Δ depende del material de que está construido el tubo
	Kutter	$C = \frac{100 \sqrt{R_s}}{m + \sqrt{R_s}}$	Se aplica a la fórmula de Chzy, donde m depende del material de que está construido el tubo
	Manning	$V = \frac{1}{n} R_s^{2/3} S_f^{1/2}$	Resulta de la fórmula de Chzy al considerar que $C = R_s^{3/8}/n$. Equivale a usar la Ec. (8.9a) con $a = 0.397/n$, $x = 2/3$, $y = 1/2$. n depende del material de que está construido el tubo

La ecuación más aplicable para el cálculo de pérdidas por fricción es la de Darcy-Weisbach, ya que es la ecuación general del flujo de fluidos en tuberías para cualquier tipo de fluido, y esta ecuación es la que se aplicará en este tratado.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

donde:

- f Factor de fricción, sin dimensiones.
- g Aceleración de la gravedad 9.81 m/seg².
- h_f Pérdida por fricción en metros de columna de líquido.
- D Diámetro de la tubería en metros.
- L Longitud de la tubería en metros.
- V Velocidad media de flujo en m/seg.

El factor de fricción está en función de la rugosidad del material de la tubería ϵ y del número de Reynolds Re en el tubo, ésto es:

$$f = f(\epsilon, Re)$$

Para encontrar los valores de ϵ y f , se buscan en tablas. ϵ se busca en las tablas de rugosidad de materiales para tubería, y f se encuentra en el diagrama de Moody, se encuentra entrando con los valores de Re y ϵ .

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por tramos rectos y curvas para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los diferentes dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción, localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración del flujo. Tales tipos de pérdidas se conocen como pérdidas locales. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general de pérdida local es:

$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

donde:

- h Pérdida de energía en metros de columna del fluido.
- K Coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la

$V^2/2g$ rugosidad del tubo.
 La carga de velocidad aguas abajo, de la zona de alteración del flujo (Salvo en aclaración en contrario) en metros de columna del fluido.

6.2.7.- Ecuaciones para determinar la potencia de una bomba.

La potencia dada a un fluido es igual al producto del peso específico por el caudal y por la altura manométrica

$$P = \Phi g Q H$$

donde:

Φ = Densidad del fluido en Kilogramos por metro cúbico Kg/m^3 .
 g = Constante de la gravedad 9.81 m/seg^2 .
 Q = Caudal en metros cúbicos por segundo m^3/seg .
 H = Altura total manométrica en metros de columna del líquido.

Generalmente a esta potencia se le da el nombre de potencia útil, la potencia real de una bomba se determina dividiendo la potencia útil de la bomba entre la eficiencia de dicha bomba.

$$P = \frac{\Phi g Q H}{\eta}$$

6.3.- Procedimiento de cálculo del equipo de bombeo.

1.- Teniendo los diámetros de las tuberías que se emplearán en la línea de conducción de los lodos activados, la velocidad de flujo en dichas tuberías y la viscosidad cinemática del fluido a transportar (lodos $\mu = 1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}$), se utiliza la ecuación del número de Reynolds, que sirve para clasificar el tipo de flujo que se tiene en la tubería.

$Re \leq 2100$ flujo laminar
 $Re \geq 18.000$ flujo turbulento
 Si $2100 < Re < 18.000$ Flujo en transición.

3.- Se busca la rugosidad absoluta del material de la tubería " ϵ ", en la tabla 6.2, en este caso la rugosidad absoluta del acero comercial es $\epsilon = 0.05 \text{ mm}$.

4.- Para obtener la rugosidad relativa se divide ϵ entre el diámetro en milímetros (ϵ/d), los valores de ϵ y ϵ/d se encuentran en la tabla 6.2.

5.- Con los valores de Re , y ϵ/d se entra en el diagrama de

Moody (tabla 6.3), para obtener el valor del coeficiente de fricción " f " o coeficiente de Darcy.

6.- Teniendo el valor del coeficiente de fricción de Darcy " f ", la longitud de tramo recto de tubería " L ", el diámetro interior de la tubería " D ", la velocidad del flujo en la tubería " V " y la constante de gravedad " $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$ ", se sustituyen en la ecuación de pérdida de carga por fricción y se obtiene la pérdida de carga h_f en metros de columna del líquido que se está transportando en la tubería (en este caso lodos).

7.- Para la pérdida de carga por accesorios se busca en las tablas 6.4 y 6.5 los coeficientes de resistencia " K " para dichos accesorios o válvulas, en la tabla 6.4 se busca " K " como sigue:

a) El coeficiente K_1 es el coeficiente para el diámetro menor del accesorio o válvula, y es en el diámetro en el que regularmente se localiza la mayor pérdida de carga.

b) K_1 siempre está multiplicado por el factor f_r que es el factor de fricción para determinada válvula o accesorio, ejemplo para válvula de compuerta:

$$K_1 = 8f_r$$

c) Se busca el diámetro nominal del accesorio en los valores de f_r al principio de la tabla 6.4, ejemplo:

Válvula de compuerta de 16 pulg. de diámetro nominal $K_1 = 8f_r$, valor de f_r para accesorios o válvulas de 12 a 16 pulgadas $f_r = 0.013$, por lo tanto $K_1 = 8(0.013)$.

8.- Para el valor de " K " en la tabla 6.5 se busca como sigue:

a) Se busca el accesorio del cual se desee conocer el valor de K .

b) Se busca el diámetro nominal del accesorio y se intercepta el valor de K en la tabla, ejemplo:

"T" flujo directo de 8 pulgadas diámetro nominal, acoplado $K = 0.10$ (en caso que no se encuentre el valor del diámetro de un determinado accesorio o válvula en esta tabla, el valor de " K " para el diámetro requerido se tendrá que interpolar).

9.- El valor de " K " se introduce a la ecuación de pérdida de carga para válvulas y accesorios, o también se introduce la sumatoria de los valores de " K " de los diferentes accesorios y válvulas que lleve un tramo de igual diámetro nominal, cédula y velocidad de flujo.

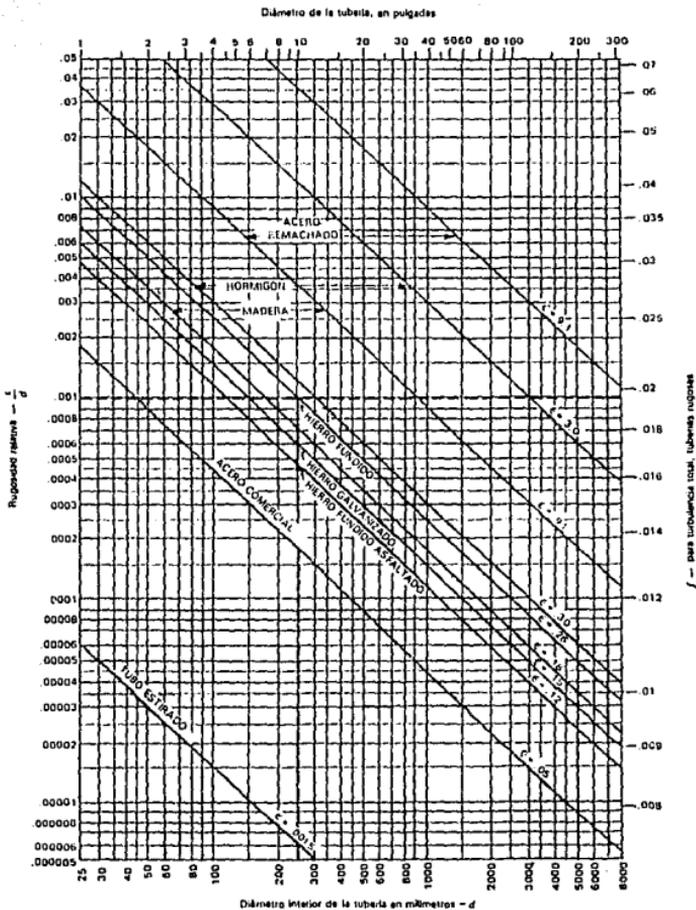
10.- La pérdida total de carga en un tramo de igual cédula, diámetro nominal y velocidad de flujo es la suma de las pérdidas de carga debidas a las pérdidas de fricción de tramo recto de tubería más la suma de pérdidas de carga debidas a válvulas y accesorios que lleve dicho tramo recto de tubería.

11.- Una vez teniendo las pérdidas de carga en totales en todos los tramos de tubería de la línea de conducción se hace la sumatoria, para obtener las pérdidas de carga total de la línea de conducción.

12.- Para el cálculo de la potencia útil de la bomba, se utiliza la ecuación de Bernoulli que nos da la columna de líquido que va a elevar la bomba " h_p ", se localizan los niveles de succión del líquido " Z_1 ", y el nivel de descarga " Z_2 ", la densidad relativa " ϕ ", las presiones en la succión y en la descarga " P_1 " y " P_2 ", la constante de gravedad " g ", las velocidades de flujo en la succión y en la descarga " V_1 " y " V_2 ", la pérdida de carga total en metros de columna de líquido en la línea de conducción h_f total.

13.- Para obtener la potencia útil de la bomba en Watts, se utiliza la ecuación de potencia útil de una bomba, y para obtener dicha potencia útil en Caballos de Fuerza (Horse Power ó H. P.) se divide entre 745.7 que son los watts requeridos por un caballo de fuerza.

14.- Para obtener la potencia real de la bomba se divide la potencia útil de la bomba entre la eficiencia de dicha bomba.

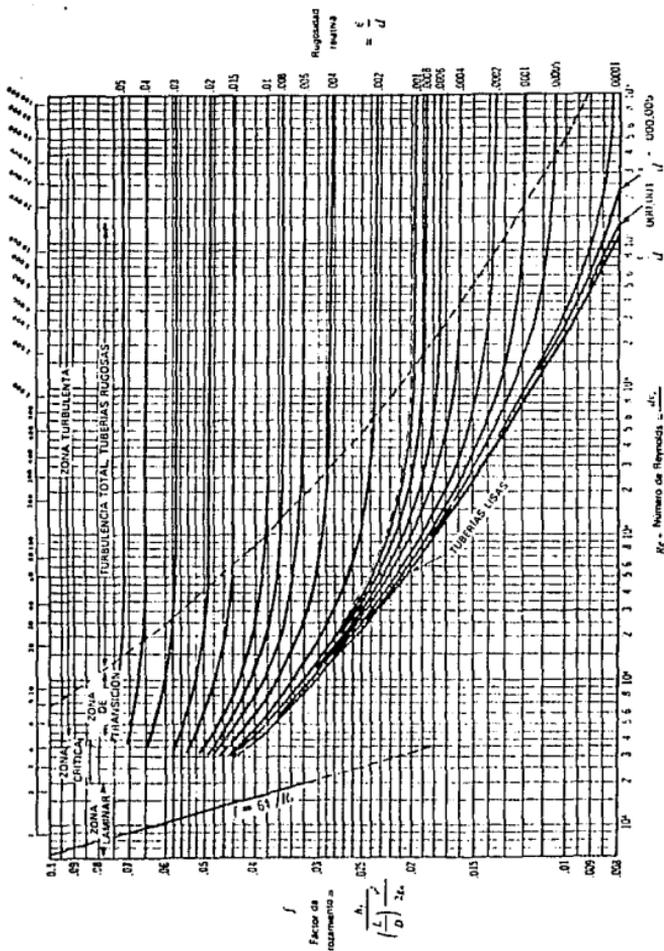


La rugosidad absoluta k en milímetros

Problema: Determinense las rugosidades absoluta y relativa y el factor de rozamiento para flujo en turbulencia total, en una tubería de hierro fundido de 250 mm de diámetro interior.
 Solución: La rugosidad absoluta (k) = 0.26 . Rugosidad relativa (k/d) = 0.001
 ...Factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total (f) = 0.0196

TABLA 6.2 RUGOSIDAD RELATIVA DE LOS MATERIALES DE LAS TUBERÍAS Y FACTOR DE FRICCIÓN PARA FLUJO EN RÉGIMEN DE TURBULENCIA TOTAL.

Valores de f para agua a 15°C (velocidad en m/s, ϕ diámetro en mm)



Problema: Determine el factor de fricción para una tubería de hierro fundido de 250 mm (10 pulg) de diámetro interno, para un número de Reynolds = 30 000.

Solución: La rugosidad relativa (véase gráfica A-31) es 0.001. Entonces, el factor de fricción (véase gráfica A-31) es

TABLA 6.3 DIAGRAMA DE MOODY -FACTORES DE FRICCIÓN PARA CUALQUIER TIPO DE TUBERÍA COMERCIAL.

Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

"K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de catálogo se dan en la página 2-10

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Díámetro Nominal	min	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300-400	450-600
	pulg	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f _T)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = K_1$$

Fórmula 2

$$K_3 = \frac{0.5 (1 - \beta^2)}{\beta^4} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}} = K_1$$

Fórmula 3

$$K_4 = \frac{2.6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = K_1$$

Fórmula 4

$$K_5 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = K_1$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_3 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_4 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_5 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}} (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_4 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_5 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = \frac{a_2}{a_1}$$

El subíndice 1 define diámetros y coeficientes para el diámetro menor. El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úsese el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 1}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL

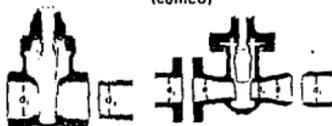


Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

TABLA 6.4. - TABLA DEL FACTOR "K".

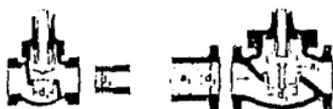
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE COMPUERTA
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta \leq 45^\circ \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta \leq 180^\circ \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 6}$

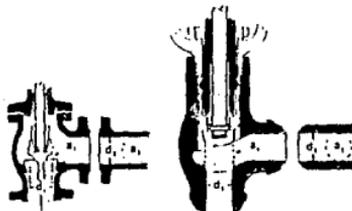
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido o de mariposa

Si: $\beta < 1 \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE



$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $15 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$
 U/L, Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$

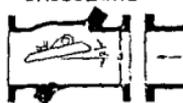
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $147 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $147 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE

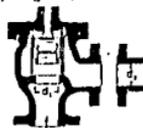


Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
	50 mm (2") a 200 mm (8") K =	40 f_T
250 mm (10") a 350 mm (14") K =	30 f_T	90 f_T
400 mm (16") a 1200 mm (48") K =	20 f_T	60 f_T
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{V}$	$40 \sqrt{V}$
pie/seg	$80 \sqrt{V}$	$120 \sqrt{V}$

TABLA 6.4.- TABLA DEL FACTOR "K" (CONTINUACIÓN)

Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE
(Tipos recto y angular)



Si:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

$$\text{m/seg} = 70 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

$$\text{pie/seg} = 55 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

Si:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

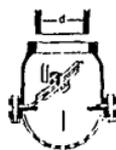
$$= 95 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

$$= 75 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

Obturador ascendente

Obturador oscilante



$$K = 420 f_T$$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

$$\text{m/seg} = 20 \sqrt{V}$$

$$\text{pie/seg} = 15 \sqrt{V}$$

$$K = 75 f_T$$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

$$= 45 \sqrt{V}$$

$$= 35 \sqrt{V}$$



Si:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador

$$\text{m/seg} = 75 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

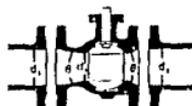
Si:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

$$\text{pie/seg} = 60 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

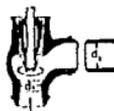
VÁLVULAS DE GLOBO



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$

$\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$

$\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$



$$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

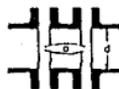
$$\text{m/seg} = 170 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

$$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$$

$$\text{pie/seg} = 140 \beta^{1/2} \sqrt{V}$$

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$

Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") ... $K = 35 f_T$

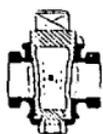
Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") ... $K = 25 f_T$

TABLA 6.4. - TABLA DEL FACTOR "K" (CONTINUACIÓN)

Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VALVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo

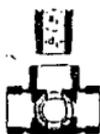


Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$

tres entradas



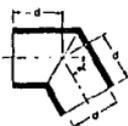
Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_1 = \text{Fórmula 6}$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA



ang	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE



r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_{90} , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_{90} = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°

K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO



$K = 50 f_T$

CODOS ESTÁNDAR

90°



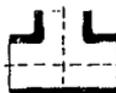
$K = 30 f_T$

45°



$K = 16 f_T$

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90°... $K = 60 f_T$

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior



$K = 0.78$

A tope



Véanse los valores de K en la tabla

r/d	K
0.00°	0.5
0.01	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

*de cantos vivos

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte



$K = 1.0$

De cantos vivos



$K = 1.0$

Redondeada



$K = 1.0$

TABLA 6.4.- TABLA DEL FACTOR "K" (CONTINUACIÓN)

COEFICIENTES DE PERDIDA $K = \frac{h_a}{V^2/2g}$ PARA VÁLVULAS ABIERTAS,
CODOS Y TES

Diámetro nominal, in	Roscado				Acoplado				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas)									
Esfera	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
Antirretorno	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
Codos:									
45 normal	0,39	0,32	0,30	0,29	—	—	—	—	—
45 suave	—	—	—	—	0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90 normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90 suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180 normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180 suave	—	—	—	—	0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
Tes:									
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,50	0,64	0,58	0,41

TABLA 6.5.- COEFICIENTES DE PERDIDAS EN VÁLVULAS Y ACCESORIOS "K"

6.4.- Parámetros de Diseño.

Los parámetros de diseño para el cálculo del sistema de recirculación de los lodos activados se basa en los siguientes datos de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y en base a los diámetros de las tuberías que ya se seleccionaron en los capítulos anteriores, junto con los datos de velocidad de flujo en las tuberías que se necesitan para no destruir el carácter floculento de los lodos activados.

- 1.- Tubería de succión 8 pulgadas diámetro nominal cédula 10S.
- 2.- Tubería de descarga al múltiple colector 8 pulgadas diámetro nominal cédula 10S.
- 3.- Tubería de conducción de los lodos activados 16 pulgadas diámetro nominal cédula 10.
- 4.- Caudal $0.125 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- 5.- Velocidad media de flujo menor que 1 m/seg .

Fig. 6.8.- Diagrama General del sistema de recirculación de los lodos activados.

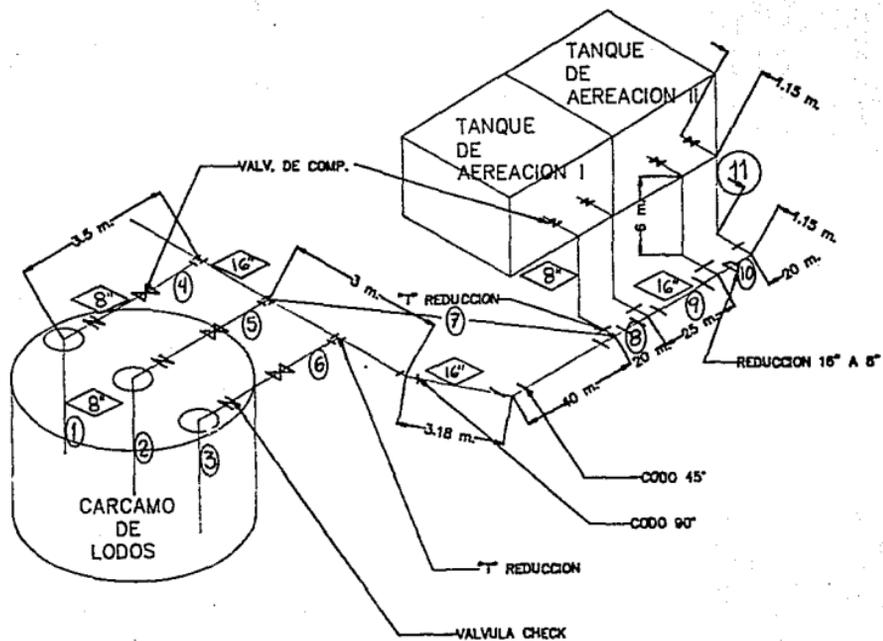
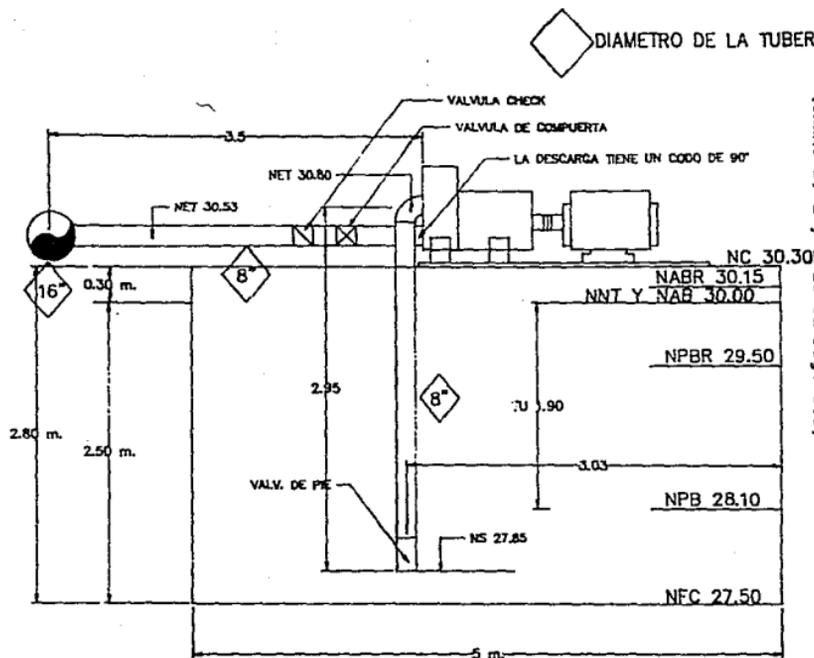


fig. 6.9 Diagrama de la succión.



(LAS VALVULAS Y LOS ACCESORIOS SON BRIDADOS)

6.5.- Cálculo de pérdidas de carga en la succión por rozamiento. (TAMBO 1, 2 y 3 de la Fig. 6.8)



DIAMETRO DE LA TUBERIA

La tubería en la succión es de 8 pulgadas de diámetro nominal, cédula 10S.

El diámetro interior de la tubería es de 8.329 pulgadas que es igual a 0.211 m. de diámetro interior.

Area.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.211\text{m})^2}{4}$$

$$A = 0.034 \text{ m}^2$$

Velocidad media de flujo.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.125 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.034 \text{ m}^2}$$

$$V = 3.676 \text{ m/seg}$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.211\text{m})(3.676\text{m/seg})}{1.008 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re = 7.69 \times 10^5$, por lo tanto es flujo turbulento.

ϵ para tubería de acero comercial de la tabla 6.2 $\epsilon = 0.05 \text{ mm}$.
 $\epsilon/d = 0.05 \text{ mm} / 211 \text{ mm} = 2.396 \times 10^{-4}$.

f se encuentra en la tabla 6.3, se localiza entrando con los valores de Re y ϵ/d .
 $f = 0.0155$

la longitud de tramo recto de tubería $L = 2.95 \text{ m}$.

La pérdida de carga h_L debido a tramo recto de tubería es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.0155) \frac{(2.95\text{m})(3.676\text{m/seg})^2}{(0.211\text{m})(2)(9.81\text{m/seg}^2)}$$

 $h_L = 0.149$ m. de columna de líquido.

La pérdida de carga h_L en accesorios y válvulas de 8 pulgadas de diámetro nominal es:

PERDIDAS EN:	K
1 codo 90° K=30 f_r	0.42
1 válvula de pie sin filtro K=75 f_r	1.05
1 entrada con resalte hacia el interior	0.78
(SUMATORIA ΣK)	2.25

$$h_L = (\Sigma K) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (2.25) \frac{(3.676 \text{ m/seg})^2}{2(9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_L para válvulas y accesorios es igual a 1.549 m. de columna de líquido.

La pérdida de carga total en la succión por rozamiento es igual a:

 $h_{Lr} = 0.149$ m. + 1.549 m. = 1.698 m. de columna de líquido.

6.6.- Cálculo de las pérdidas de carga en la descarga por rozamiento.

a) Pérdidas de carga para los tramos 4, 5 y 6 de 8 pulgadas de diámetro nominal cédula 10S.

Diámetro interior D.I.=8.329 pulgadas = 0.211 m.

Area.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.211\text{m})^2}{4}$$

$\lambda = 0.034 \text{ m}^2$.

Velocidad.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.125\text{m}^3/\text{seg}}{0.034\text{m}^2}$$

$V = 3.676 \text{ m/seg}$.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.211\text{m})(3.676\text{m/seg})}{1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re = 7.69 \times 10^3$ por lo tanto es flujo turbulento.
 ϵ para tubería de acero comercial de la tabla 4.1 $\epsilon = 0.05 \text{ mm}$
 $\epsilon/d = 0.05 \text{ mm} / 211 \text{ mm} = 2.36 \times 10^{-4}$.

f se encuentra en la tabla 6.3, se localiza entrando con los valores de Re y ϵ/d .
 $f = 0.0155$

La longitud de tramo recto de tubería $L = 3.5 \text{ m}$.

La pérdida de carga h_L debido a tramo recto de tubería es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.0155) \frac{(3.5\text{m})(3.676\text{m/seg})^2}{(0.211\text{m})(2)(9.81\text{m/seg}^2)}$$

 $h_L = 0.177$ m. de columna de líquido.

La pérdida de carga h_L en accesorios y válvulas de 8 pulg. de diámetro nominal es:

PERDIDAS EN:	K
1 codo 90° K=30f,	0.42
1 válvula de compuerta K=8f,	0.112
1 válvula Check	2
(SUMATORIA ΣK)	2.532

$$h_L = (\Sigma K) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (2.532) \frac{(3.676 \text{ m/seg})^2}{2(9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_L para válvulas y accesorios es igual a 1.743 m. de columna de líquido.

La pérdida de carga total h_{Lr} para los tramos 4, 5 y 6 de 8 pulgadas de diámetro nominal cédula 10S es:

 $h_{Lr} = 0.177$ m. + 1.743 m. = 1.92 m. de columna de líquido.

b) Pérdidas de carga para el tramo 7 de 16 pulgadas de diámetro nominal cédula 10.

Diámetro Interior D.I.=15.5 pulg = 0.3937 m.

Area.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416) (0.3937\text{m})^2}{4}$$

Velocidad.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.125\text{m}^3/\text{seg}}{0.1217\text{m}^2}$$

Velocidad V=1.02 m/seg.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.3937\text{m}) (1.02\text{m}/\text{seg})}{1.008 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{seg}}$$

Re=3.98x10⁵ por lo tanto es flujo turbulento.

ε se encuentra en la tabla 6.2 para tubería de acero comercial
ε=0.05 mm.

ε/d = 0.05 mm / 393.7 mm =0.000127

f se encuentra en la tabla 6.3. se localiza entrando con los valores de Re y ε/d.

f=0.015

Longitud de tramo recto de tubería L=46.18 m.

La pérdida de carga h_L debido a tramo recto de tubería es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.015) \frac{(46.18\text{m}) (1.02\text{m}/\text{seg})^2}{(0.3937\text{m}) (2) (9.81\text{m}/\text{seg}^2)}$$

h_L=0.0914 m. de columna de líquido.

La pérdida de carga h_f para válvulas y accesorios del tramo 7 de la línea de conducción es:

PERDIDAS EN:	K
1 "T" flujo lateral $K=60f$,	0.78
1 "T" flujo directo $K=20f$,	0.26
1 codo de 90° $K=20f$,	0.26
1 codo de 45° $K=16f$,	0.208
(SUMATORIA ΣK)	1.508

$$h_L = (\Sigma K) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (1.508) \frac{(1.02 \text{ m/seg})^2}{2(9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_f para válvulas y accesorios es igual a 0.079 m. de columna de líquido.

La pérdida de carga total h_{Lr} para el tramo 7 de la línea de conducción es de 16 pulg. de diámetro nominal cédula 10 es:

 $h_{Lr} = 0.0914 \text{ m} + 0.079 \text{ m} = 0.1704 \text{ m. de columna de líquido.}$

c) Pérdidas de carga para tramo 8 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal cédula 10 (Pérdidas en la descarga).

Caudal.

$$Q=0.125 \text{ m}^3/\text{seg} - 0.03125 \text{ m}^3/\text{seg} = 0.09375 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Diámetro interior de la tubería D.I.=0.3937 m.

Velocidad.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.09375 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.1217 \text{ m}^2}$$

Velocidad $V=0.7703 \text{ m}/\text{seg}$.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.3937 \text{ m})(0.7703 \text{ m}/\text{seg})}{1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re=3 \times 10^3$ por lo tanto es flujo turbulento.

ϵ se encuentra en la tabla 6.2 y vale para tuberías de acero comercial $\epsilon=0.05 \text{ mm}$
 $\epsilon/d=0.05 \text{ mm} / 393.7 \text{ mm}=0.000127$

f se encuentra en la tabla 6.3 se localiza entrando con los valores de ϵ/d y Re .
 $f=0.0156$.

Longitud de tramo recto de tubería $L=20 \text{ m}$.

Las pérdidas de carga h_L debido a tramo de tubería recta es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.0156) \frac{(20 \text{ m})}{(0.3937 \text{ m})} \frac{(0.7703 \text{ m}/\text{seg})^2}{(2)(9.81 \text{ m}/\text{seg}^2)}$$

 $h_L=0.023 \text{ m}$. columna de líquido.

Pérdidas de carga h_L por válvulas y accesorios de 16 pulg. de diámetro nominal en el tramo 8 de la línea de conducción.

PERDIDAS EN:	K
1 "T" flujo directo $K=20f_v$	0.26
SUMATORIA (ΣK)	0.26

$$h_L = (\Sigma K) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.26) \frac{(0.7703 \text{ m/seg})^2}{(2) (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_L para válvulas y accesorios es igual a 0.007 m. col. liq.

La pérdida de carga total h_{Lr} para el tramo 8 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal y cédula 10 es:

 $h_{Lr} = 0.023 \text{ m} + 0.007 \text{ m} = 0.03 \text{ m. col. liq.}$

d) Pérdidas de carga para tramo 9 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal cédula 10 (pérdidas en la descarga).

Caudal

$$Q = 0.09375 \text{ m}^3/\text{seg} - 0.03125 \text{ m}^3/\text{seg} = 0.0625 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Diámetro interior de la tubería D.I.=0.3937 m.

Velocidad.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0625 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.1217 \text{ m}^2}$$

Velocidad $V=0.513 \text{ m/seg}$.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.3937 \text{ m})(0.513 \text{ m/seg})}{1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re=5.97 \times 10^4$ por lo tanto es flujo turbulento.

ϵ se encuentra en la tabla 6.2 y vale para tuberías de acero comercial $\epsilon=0.05 \text{ mm}$.

$$\epsilon/d = 0.05 \text{ mm} / 393.7 \text{ mm} = 0.000127.$$

f se encuentra en la tabla 6.3 se localiza entrando con los valores de ϵ/d y Re .

$$f=0.021.$$

Longitud de tramo recto de tubería $L=25 \text{ m}$.

Las pérdidas de carga h_L debido a tramo de tubería recta es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.021) \frac{(25 \text{ m})}{(0.3937 \text{ m})} \frac{(0.513 \text{ m/seg})^2}{(2) (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

$$h_L = 0.0178 \text{ m. col. l'q.}$$

Pérdidas de carga h_L por válvulas y accesorios de 16 pulg. de diámetro nominal en el tramo 9 de la línea de conducción.

PERDIDAS EN:	K
1 "T" flujo directo $K=20f$.	0.26
SUMATORIA (ΣK)=	0.26

$$h_L = (\Sigma K) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.26) \frac{(0.513 \text{ m/seg})^2}{(2) (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_L para válvulas y accesorios es igual a 0.006 m. col. líq.

La pérdida de carga total h_{Lr} para el tramo 5 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal y cédula 10 es:

 $h_{Lr} = 0.0178 \text{ m} + 0.006 \text{ m} = 0.0238 \text{ m. col. líq.}$

e) Pérdidas de carga para el tramo 10 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal, cédula 10 (pérdidas en la descarga).

Caudal.

$$Q=0.0625 \text{ m}^3/\text{seg} - 0.03125 \text{ m}^3/\text{seg}=0.03125 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Diámetro interior de la tubería D.I.=0.3937 m.

Velocidad.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.03125 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.1217 \text{ m}^2}$$

Velocidad $V=0.256 \text{ m/seg}$.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.3937 \text{ m})(0.256 \text{ m/seg})}{1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re=9.998 \times 10^4$ por lo tanto es flujo turbulento.

ϵ se encuentra en la tabla 6.2 y vale para tuberías de acero comercial $\epsilon=0.05 \text{ mm}$.

f se encuentra en la tabla 6.3 se localiza entrando con los valores de ϵ/d y Re .

$f=0.0163$

Longitud de tramo recto de tubería $L=20 \text{ m}$.

Las pérdidas de carga h_L debido a tramo de tubería recta es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

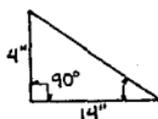
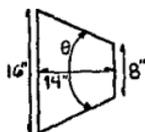
$$h_L = (0.0163) \frac{(20 \text{ m})}{(0.3937 \text{ m})} \frac{(0.256 \text{ m/seg})^2}{(2)(9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 $h_L=0.023 \text{ m. col. liq.}$

Pérdidas de carga h_f por válvulas y accesorios de 16 pulg. de diámetro nominal en el tramo 10 de la línea de conducción.

PERDIDAS EN:	K
1 "T" flujo directo $K=20f$.	0.26
1 Reducción de 16" a 8"	0.20
SUMATORIA (ΣK)=	0.46

Reducción del manual MYMACO:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C.O}{C.A}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{4}{14} = 15.94^\circ$$

$$\theta = 2\alpha = 31.89^\circ$$

DE LA TABLA 6.4

$$K_1 = 0.8 \left(\operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - S^4)$$

$$S = \frac{D_1}{D_2}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \theta$$

$$K_1 = 0.8 (\operatorname{sen} 15.94) (1 - 0.0625) = 0.20$$

donde:

D_1 = Diámetro mayor de la reducción.

D_2 = Diámetro menor de la reducción.

θ = Ángulo de Reducción.

$$h_L = (EK) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.46) \frac{(0.256 \text{ m/seg})^2}{(2) (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

h_i para válvulas y accesorios es igual a 0.001 m. col. líq.

La pérdida de carga total h_{LT} para el tramo 10 de la línea de conducción de 16 pulg. de diámetro nominal y cédula 10 es:

h_{LT} = 0.002 m + 0.001 m = 0.003 m. col. líq.

f) Pérdidas de carga para tramo 11 de la línea de conducción de 8 pulg. de diámetro nominal cédula 20 (pérdidas en la descarga).

Caudal.
 $Q=0.03125 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Diámetro interior de la tubería D.I.=0.2063 m.

Velocidad.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.3125 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.033 \text{ m}^2}$$

Velocidad $V=0.946 \text{ m/seg.}$

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{DV}{\mu} = \frac{(0.2063 \text{ m})(0.946 \text{ m/seg})}{1.008 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

$Re=1.93 \times 10^5$ por lo tanto es flujo turbulento.

ϵ se encuentra en la tabla 6.2 y vale para tuberías de acero comercial $\epsilon=0.05 \text{ mm.}$
 $\epsilon/d=0.05 \text{ mm} / 206.3 \text{ mm}=0.00024$

f se encuentra en la tabla 6.3 se localiza entrando con los valores de ϵ/d y Re .
 $f=0.0175$.

Longitud de tramo recto de tubería $L=8.31 \text{ m.}$

Las pérdidas de carga h_L debido a tramo de tubería recta es:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.0175) \frac{(8.31 \text{ m})}{(0.2063 \text{ m})} \frac{(0.946 \text{ m/seg})^2}{(2)(9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 $h_L=0.032 \text{ m. col. líq.}$

Pérdidas de carga h_L por válvulas y accesorios de 8 pulg. de diámetro nominal en el tramo 11 de la línea de conducción.

PERDIDAS EN:	K	ΣK
3 CODOS DE 90° K=20f,	0.28	0.84
1 SALIDA CON RESALTE	1	1
SUMATORIA ΣK		1.84

$$h_L = (\Sigma K) \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (1.84) \frac{(0.946 \text{ m/seg})^2}{(2) (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

 h_L para válvulas y accesorios es igual a 0.083 m. col. líq.

La pérdida de carga total h_{LT} para el tramo 11 de la línea de conducción de 8 pulg. de diámetro nominal y cédula 20 es:

 $h_{LT} = 0.083 \text{ m} + 0.032 \text{ m} = 0.115 \text{ m. col. líq.}$

6.7.- Cuadro de flujos del sistema de recirculación de los lodos activados.

En el siguiente cuadro mostraremos los diferentes tramos de línea de conducción que integran el sistema de recirculación de los lodos activados así como las pérdidas en cada tramo, el caudal que conducen las tuberías, la pérdida de carga en cada tramo de tubería, el diámetro y la cédula de las los diferentes tramos de línea de conducción y la velocidad de flujo en la tubería. Estos datos son recopilación de la información ya calculada anteriormente, el número de la línea de conducción se puede localizar en la fig. 6.8.

No. de línea.	Caudal Q. l/seg.	Velocidad V. m/seg.	Pérdida de carga. m.c.l.	Diámetro (pulgada)	Cédula
1, 2 ó 3.	125	3.676	1.698	8	105
4, 5 ó 6.	125	3.676	1.92	8	105
7	125	1.02	0.1704	16	10
8	93.75	0.7703	0.03	16	10
9	62.5	0.513	0.0238	16	10
10	31.25	0.256	0.003	16	10
11	31.25	0.946	0.115	8	105

6.8.- Cálculo de la potencia de la Bomba.

-Ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\phi g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\phi g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L - h_p$$

DONDE:

Z_1 = Nivel de lodos en la succión.

Z_2 = Nivel en la descarga.

P_1 = Presión en la succión.

P_2 = Presión en la descarga.

V_1 = Velocidad de flujo en la succión.

V_2 = Velocidad de flujo en la descarga.

h_{Lp} = Pérdida de carga total del sistema de la línea de conducción.

h_p = Altura en metros de columna de lodos adicionada por una bomba.

ϕ = Densidad relativa de los lodos activados.

La presión manométrica en la descarga y en la succión es igual a cero manométrica, debido a que es la atmosférica.

$$P_1 = P_2 = 0$$

Pérdidas totales por fricción en válvulas accesorios y tubería de la línea de conducción de los lodos activados.

$$h_{Lp} = 1.698 \text{ m} + 1.92 \text{ m} + 0.1704 \text{ m} + 0.03 \text{ m} + 0.0238 \text{ m} + 0.003 \text{ m} + 0.115 \text{ m} = 3.96 \text{ m. de columna de líquido.}$$

Niveles en la succión y en la descarga.

$$Z_1 = 28.10 \text{ m.}$$

$$Z_2 = 34.30 \text{ m.}$$

$$28.10 \text{ m} = 34.30 \text{ m} + \frac{(0.946 \text{ m/seg})^2}{(2)(9.81 \text{ m/seg}^2)} + 3.96 \text{ m} - h_p$$

La altura de carga adicionada por la bomba es:

$$h_p = 10.20 \text{ m. de columna de líquido.}$$

Potencia útil de una bomba.

$$P_u = \phi g Q h_p$$

$$P_u = (1049 \text{ Kg/m}^3) (9.81 \text{ m/seg}^2) (0.125 \text{ m}^3/\text{seg}) (10.20 \text{ m})$$

$$P_u = 13120.62 \text{ watts.}$$

$$1 \text{ H.P.} = 745.7 \text{ watts.}$$

$$P_u = 17.59 \text{ H. P.}$$

6.8.1.- Parámetros de diseño o márgenes de seguridad.

Para el cálculo del sistema de recirculación de los lodos activados en una planta de tratamiento de aguas residuales, la pérdida de carga en el bombeo debido al rozamiento en la tubería, se señala en el METCALF AND EDDY. (Referencia bibliográfica No. 1)

En el caso de flujo turbulento, las pérdidas de carga para fangos digeridos, activados y de filtros percoladores son del 10 al 25% mayores que las correspondientes al agua.

(Se señala de esta forma debido a que el fango activado está constituido con un porcentaje de agua mayor al 95%).

En este tratado utilizaremos el 20% adicional a las pérdidas de carga por rozamiento.

$$h_t = 3.96 \text{ m (1.20)} = 4.752 \text{ m. de col. líq.}$$

$$h_r = 10.99 \text{ m. col. líq.}$$

$$P_u = \phi g Q h_p = (1049 \text{ Kg/m}^3) (9.81 \text{ m/seg}^2) (0.125 \text{ m}^3/\text{seg}) (10.99 \text{ m})$$

La potencia útil de la bomba es:

$$P_u = (14136.83 \text{ watts.}) (1 \text{ H.P.} / 745.7 \text{ Watts}) = 18.957 \text{ H.P.} =$$

La potencia Real que utilizaremos para la bomba es:

$$P_R = \frac{P_{util}}{\eta}$$

Utilizando la eficiencia de la bomba que se preseleccionó en el Capítulo III que es del 77%, se tiene que:

$$P_{\text{e}} = \frac{18.957 \text{ H.P.}}{0.77} = 24.62 \text{ H.P.}$$

El motor es el especificado en el capítulo III por el fabricante, es un motor de 30 H.P. de 6 polos 220-440 Volts, TCCV.

6.9.- Análisis de la CNSP (Carga Neta de Succión Positiva).

Como ya se mencionó, para evitar fenómenos como son la cavitación y que se deteriore el equipo o tenga un mal funcionamiento, se hace necesario el análisis de la CNSP.

La CNSP requerida por el equipo de bombeo es de 4.57 m. de columna de líquido.

LA CNSP disponible por el sistema se calcula así:

$$\text{CNSP disponible} = P_s + h_s - h_{ps} - P_v$$

Las condiciones de operación del sistema de recirculación de lodos activados son los siguientes:

La bomba maneja lodos activados a una temperatura de 18°C. La instalación se encuentra a 300 metros sobre el nivel del mar.

La carga correspondiente a la presión atmosférica en m. columna de líquido a la altitud de 300 m. sobre el nivel del mar es:

$$P_s = 10 \text{ m.}$$

La carga correspondiente a la presión de vapor a 18°C. es de:

$$P_v = 0.20927 \text{ m.}$$

Las pérdidas por rozamiento en la tubería de succión son:

$$h_{ps} = 1.698 \text{ m.}$$

La altura de succión desde el nivel del agua (en la succión) hasta la línea de centros de la bomba es de:

$$h_s = 2.7 \text{ m.}$$

$$\text{CNSP disponible} = P_s + h_s - h_{ps} - P_v$$

$$\text{CNSP disponible} = 10 \text{ m} + (-2.7 \text{ m}) - 1.698 \text{ m} - 0.2097 \text{ m} = 5.3923 \text{ m.}$$

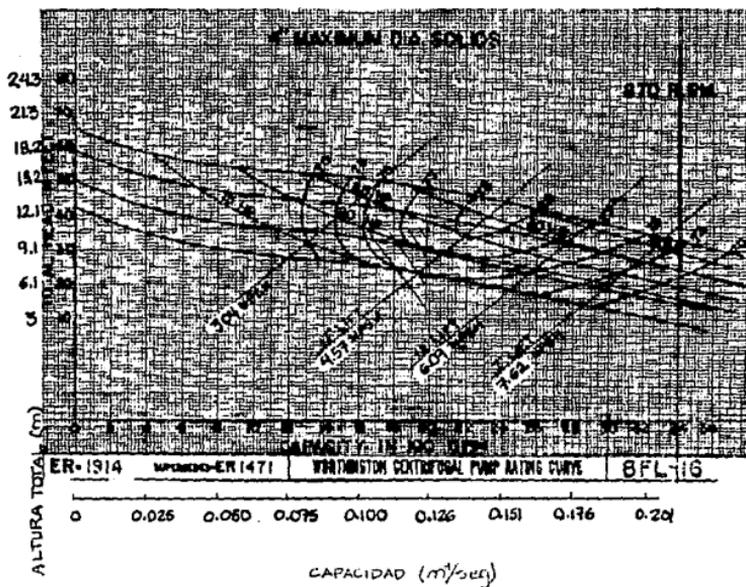


Fig. 0.10 Curva de CNSP requerida por la bomba.

Lo que quiero decir que el sistema no tendrá problemas de funcionamiento, ya que el CNSP disponible es mayor al CNSP requerido.

(disponible) 5.3923 m > 4.57 m. (requerido)

CAPITULO VII.- MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE LOS LODOS ACTIVADOS.

7.1.- Generalidades.

Este capítulo se refiere al tipo de mantenimiento que se le dará al sistema de recirculación de lodos activados, definirá el tipo de mantenimiento tanto preventivo como correctivo que requiere cada parte de este sistema, así como la acción de mantenimiento que requiere cada parte de dicho sistema.

El mantenimiento dado al sistema se requiere para mantener siempre la planta en funcionamiento óptimo y para mantener al equipo en estado aceptable o en condiciones óptimas de operación, y así evitar desperfectos en el sistema.

7.2.- Mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento se realiza para mantener al equipo en óptimas condiciones de operación, son acciones que aseguran la calidad del servicio que presta un equipo, manteniendo dicho servicio en un rango aceptable de funcionalidad. Estos trabajos generalmente se toman de las instrucciones que proporcionan los fabricantes al respecto y los puntos de vista que dan los técnicos en cada especialidad al visitar cada nueva instalación y corroborar el ambiente circundante y las condiciones que guarda el lugar y el equipo.

7.2.1.- Guías de mantenimiento preventivo.

El propósito principal de las guías de mantenimiento preventivo es ayudar al operador a:

- a) Conservar la planta perfectamente aseada y ordenada.
- b) Establecer un plan sistemático (tanto interior como exterior), para la ejecución de las operaciones cotidianas.
- c) Establecer un programa rutinario de inspección y lubricación de los sistemas.
- d) Llevar los datos y registros de cada pieza y equipo, enfatizando lo relativo a incidentes poco usuales y condiciones operatorias deficientes.
- e) Observar las medidas de seguridad.

Dentro de la planta de tratamiento

Es muy importante que se realice periódicamente el mantenimiento preventivo, pues cuando un equipo está en mal estado, su eficiencia disminuye y repercute en la calidad del agua tratada, provocando una baja calidad.

De esta manera se conseguirá mantener el mejor y buen funcionamiento de los equipos, dispositivos y/o aditamentos que integran el sistema de recirculación de los lodos activados y por consiguiente el de la planta de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, las guías de operación y mantenimiento preventivo consiguen una mejor y más uniforme distribución de las actividades, lo cual resultará en el mejoramiento de las condiciones de operación, control y funcionamiento del sistema.

Es una práctica corriente instalar varias tapas de inspección en las líneas de conducción de lodos activados en forma de cruces en vez de codos, de manera que las tuberías puedan limpiarse con varillas si fuese necesario.

En el sistema de recirculación de los lodos activados, las bombas centrífugas suelen bombear un fango más diluido que a veces contiene parte de agua residual y el incremento de altura debido a acumulaciones de grasa parece producirse más lentamente. Algunas plantas disponen de equipo para fundir la grasa haciendo circular agua caliente o vapor a lo largo de las principales conducciones de fango.

7.3.- Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo, se basa en acciones de corrección al equipo, reparando todas las anomalías o desperfectos que tenga el equipo en su funcionamiento, y dejando ese equipo o instalación en condiciones de óptimo funcionamiento.

Muchas de las acciones de mantenimiento correctivo no se señalaran en este tratado, por ser acciones especializadas en talleres o acciones de corrección especiales de los fabricantes de los equipos.

7.4.- Componentes del sistema de lodos activados que necesitan mantenimiento.

Los principales componentes del sistema de recirculación de los lodos activados son:

- a) Bombas.
- b) Motores Eléctricos.
- c) Válvulas y accesorios.
- d) Tubería de conducción.
- e) Cárcamo de lodos.

En el equipo de recirculación de los lodos activados, las partes que necesitan mantenimiento tanto preventivo como correctivo en una forma más constante son las bombas, los motores eléctricos y las válvulas.

7.4.1.- Acciones de mantenimiento que requieren las bombas.

-Mantenimiento preventivo.

- 1.- Detección de vibración excesiva, ruidos anormales, fugas de aceite y sobrecalentamiento. (se realizará una vez por turno de cada operador del sistema).
- 2.- Revisión del nivel de aceite necesario (una vez por turno de cada operador).
- 3.- Revisión de juntas y empaques (una vez por mes).

-Mantenimiento correctivo.

- 1.- Reponer el aceite faltante para la lubricación de la bomba.
- 2.- Cambiar las juntas y los empaque si así se requiere.

Realizar el mantenimiento correctivo en base al chequeo realizado en el mantenimiento preventivo, si hay anomalías de funcionamiento del equipo, corregir inmediatamente el problema para evitar daños mayores al equipo de bombeo y consecuentes daños a los motores eléctricos.

Las acciones descritas anteriormente son las acciones de mantenimiento más comunes para el equipo de bombeo, sin embargo las bombas centrífugas tienen otros tipos de problemas, y una lista eficiente como guía de mantenimiento tanto preventivo como correctivo para evitar un mal funcionamiento de los equipos de bombeo es la siguiente, aportada por el libro CRANE-GREENE (Referencia bibliográfica No. 2)

En las bombas centrífugas existen 14 tipos de problemas de mal funcionamiento con los que se puede encontrar un ingeniero, todos estos problemas se pueden clasificar en tres grupos de problemas: problemas hidráulicos reales, problemas mecánicos reales y problemas hidráulicos irreales.

Los problemas hidráulicos reales son cuando la bomba no puede funcionar de acuerdo con las especificaciones de capacidad, carga y eficiencia. Pueden ser por fallas en la bomba o en su propulsor. Ciertos problemas hidráulicos, como la cavitación, pueden ocasionar el segundo tipo de problema que son los desperfectos mecánicos, los cuales se notan por síntomas como el ruido, vibraciones, sobrecalentamiento y puede llevar a un mal funcionamiento hidráulico con lo que la bomba no cumple con los requisitos de rendimiento.

Los problemas irreales suelen ser hidráulicos y por lo general son el resultado del diseño y colocación incorrectos de la tubería y de procedimientos deficientes para pruebas. Pero, la corrección de estos problemas suele ser más costosa que la de las dos primeras clases de problemas, por la dificultad para diagnosticarlas.

Una lista detallada de las causas de las 14 clases de mal

funcionamiento incluye 89 conceptos (Tabla 7.1) que se deben chequear y revisar periódicamente como guía de mantenimiento preventivo y correctivo.

Lista de comprobación de problemas típicos con las bombas centrífugas:

- 1.- La bomba no entrega líquido.
- 2.- Entrega menos líquido del esperado.
- 3.- No produce suficiente presión.
- 4.- La forma de la curva de la carga y capacidad es diferente de la curva original de rendimiento.
- 5.- Pierde el cebado después del arranque.
- 6.- Consume demasiada potencia.
- 7.- Tiene vibraciones.
- 8.- Está ruidosa.
- 9.- Fugas excesivas por el prensaestopas.
- 10.- Corta duración del prensaestopas.
- 11.- Fugas excesivas por el sello mecánico.
- 12.- Corta duración del sello mecánico.
- 13.- Corta duración de los cojinetes.
- 14.- La bomba se sobrecalienta y se pega.

1. Instrumentos de medición mal calibrados o mal instalados	30. Desalineación entre bomba y su propulsor	59. Holgura excesiva en parte inferior del prensaestopos, entre el eje y la carcasa
2. El aire entra a la bomba durante el funcionamiento o el sistema de bombeo no está desaireado por completo antes del arranque	31. Rozamiento de piezas rotatorias en las piezas estacionarias	60. Mugre o arena en el agua para sello
3. Velocidad insuficiente	32. Cojinetes gastados	61. Prensaestopos excéntrico en relación con el eje
4. Sentido incorrecto de rotación	33. Empaquetadura mal instalada	62. Sello mecánico mal instalado
5. La presión de descarga requerida por el sistema es mayor que la de diseño de la bomba	34. Tipo incorrecto de empaquetadura	63. Tipo incorrecto de sello mecánico para las condiciones de funcionamiento.
6. La (NPSH) _a muy baja (incluso mucha altura de aspiración)	35. El sello mecánico ejerce presión excesiva contra el asiento	64. Desalineación interna de piezas que impiden que la arandela de sello y el sello accipien en forma correcta.
7. Cantidad excesiva de vapores arrastrados en el líquido	36. Empaquetadura muy apretada	65. Cara de sellamiento no está perpendicular con el eje
8. Fugas excesivas por las superficies sujetas a desgaste	37. Lubricación incorrecta de los cojinetes	66. El sello mecánico ha trabajado en seco
9. Viscosidad del líquido mayor que la del líquido para el cual se diseñó la bomba	38. La tubería aplica esfuerzos en la bomba	67. Sólidos abrasivos en el líquido que hacen contacto con el sello
10. Impulsor o carcasa obstruidos parcial o totalmente con sólidos	39. La bomba funciona a su velocidad crítica	68. Fugas debajo de la camisa por falta de juntas y sellos anulares
11. Conductos para agua en impulsor o carcasa, muy ásperos	40. Elementos rotatorios están desequilibrados	69. Cavidades para cojinetes y carcasa no están concéntricas con el lado para agua
12. Salientes, rebabas, bordes agudos, etc., en la trayectoria para el líquido.	41. Fuerzas laterales excesivas en las piezas rotatorias	70. Cubierta de cojinete dañada o agrietada
13. Impulsor dañado	42. Distancia insuficiente entre diámetro exterior del impulsor y la lengüeta de la voluta	71. Exceso de grasa en los cojinetes
14. Diámetro exterior del impulsor rectificado a menor diámetro del especificado	43. Lengüeta de la voluta de configuración deficiente	72. Sistema de lubricación deficiente
15. Función deficiente del impulsor o de la carcasa	44. Tubería y conexiones de succión o descarga de tamaño menor del requerido (la veces ocasionan cavitación)	73. Instalación incorrecta de cojinetes por daños al instalarlos, instalación incorrecta, cojinetes de tipo inadecuado, etc.
16. Impulsor mal instalado en la carcasa	45. Válvula o disco flojos en el sistema que ocasionan cavitación prematura en la bomba	74. Los cojinetes no tienen lubricación
17. Requisitos del sistema muy lejos en la curva de carga y capacidad	46. Eje doblado	75. Mugre en los cojinetes
18. Obstrucciones en los tubos de succión o de descarga	47. La cavidad del impulsor no está concéntrica con su diámetro exterior o no está cuadrada con la cara	76. Entrada de agua a la cubierta de cojinetes
19. Válvula de pie obstruida o trabada	48. Desalineación de las piezas	77. Agujeros de equilibrio obstruidos
20. Pichancha de succión llena de sólidos	49. La bomba funciona a muy baja capacidad	78. Falta del dispositivo equilibrador
21. Pichancha de succión tapada con material fibroso	50. Placa de base o cimentación mal diseñadas	79. Presión de succión muy alta
22. Tendido incorrecto de los tubos de succión o descarga	51. Resonancia entre la velocidad de funcionamiento de la bomba y la frecuencia natural de los cimientos u otros elementos estructurales en la estación de bombeo	80. Ajuste muy apretado entre el cojinete en línea y sus asentos, que puede impedir su deslizamiento con carga axial.
23. Colocación incorrecta del sumidero de succión	52. Las piezas rotatorias giran excéntricas por cojinetes gastados o piezas dañadas	81. La bomba no está cebada y se la dejó funcionar en seco
24. El funcionamiento de una bomba (en un sistema que tiene dos o más bombas en serie o en paralelo o combinación de ellas) se altera en forma grave con el funcionamiento de las otras bombas.	53. Instalación incorrecta de los cojinetes	82. Bolsas de gas dentro de la bomba
25. El nivel de agua en el tanque o sumidero de succión, muy por abajo de la entrada de la bomba.	54. Cojinetes dañados	83. Funcionamiento a capacidad muy baja
26. Velocidad muy alta	55. Tubo para el sello de agua, obstruido	84. Funcionamiento en paralelo de bombas que no son de las mismas características
27. El líquido bombeado tiene mayor densidad relativa que la prevista	56. Jaula del sello mal colocada en el prensaestopos y evita que el agua para ello entre al espacio en que debe sellar	85. Desalineación interna por demasiado esfuerzo de los tubos, cimientos deficientes o reparaciones mal hechas
28. Impulsor de tamaño mayor que el necesario	57. Eje o camisas del eje gastados o rayados junto a la empaquetadura	86. Rozamiento interno entre piezas rotatorias y piezas estacionarias
29. Carga total del sistema mayor o menor que la esperada	58. No hay agua de enfriamiento para los prensaestopos enfriados por agua.	87. Cojinetes gastados
		88. Falta de lubricación.
		89. Anillos de desgaste rotatorios y estacionarios hechos de materiales iguales y de propiedades físicas idénticas

Tabla 7.1.- Lista de comprobación de problemas con las bombas centrífugas (tabla CRANE-GREENE).

7.4.2.- Acciones de mantenimiento que requieren los motores eléctricos.

-Mantenimiento preventivo.

- 1.- Detección de vibración excesiva, ruidos anormales, fugas de aceite y sobrecalentamiento (Una vez por turno de cada operador).
- 2.- Revisión del nivel de aceite necesario (una vez por turno de cada operador).
- 3.- Revisión de juntas, empaques y rodamientos (una vez por semana).

-Mantenimiento correctivo.

- 1.- Reponer el aceite faltante para la lubricación del motor.
- 2.- Cambiar juntas y empaques y rodamientos de los motores si así se requiere.

Realizarlo en base al chequeo realizado en el mantenimiento preventivo, detectando anomalías en el funcionamiento del equipo y corrigiendo inmediatamente el problema que lo originó.

7.4.3.- Mantenimiento general de las válvulas.

El mantenimiento de las válvulas en servicio suele estar limitado a apretar tornillos de la unión entre el bonete y los del estopero, aunque en caso de emergencia se puedan instalar nuevos tornillos de empaquetadura. El reemplazo de ésta en una válvula que está en servicio siempre es peligroso y sólo se debe intentar después de que el asiento posterior está asentado en forma hermética contra el bonete; estos asientos sólo se utilizan en las válvulas de compuerta y de globo.

El mantenimiento extenso de las válvulas de una tubería, aunque esté fuera de servicio, sólo se hace en circunstancias poco comunes. El grado de reparaciones con las válvulas instaladas está limitado por su diseño. Es mucho más conveniente desmontar una válvula con bridas e instalar una de repuesto, que intentar repararla instalada, aunque el diseño de la válvula permita hacer ciertas reparaciones sin desmontarla. A veces, a las válvulas grandes se les puede dar servicio cuando están instaladas, pues puede ser difícil desmontarlas para llevarlas al taller.

Las válvulas que se pueden reparar sin desmontarlas, para corregir problemas con el asentamiento e instalar nuevos discos o sellos de asiento, son las de compuerta, globo, retención, macho, bola de entrada superior y diafragma (En nuestro caso solo nos interesan las de compuerta y las de retención).

La rectificación de los asientos de las válvulas de compuerta y de retención de bisagra requiere el uso de una

máquina especial que se monta en la brida del cuerpo y corta una nueva superficie de asiento en la válvula, pero este procedimiento es de resultados dudosos.

El mantenimiento de las válvulas de retención y compuerta de este tratado, consiste generalmente en la rectificación de los asientos y discos para asegurar un cierre hermético, por lo que se deben inspeccionar periódicamente las válvulas (una vez por semana).

7.4.3.1.- Reacondicionamiento de las válvulas como mantenimiento correctivo.

El reacondicionamiento deja como nuevas las válvulas viejas, este método ahorra dinero y energías en el mantenimiento de las válvulas. El reacondicionamiento de las válvulas consiste en el reemplazo de las piezas gastadas, esto se realiza en talleres especializados en la materia, y con este método una válvula puede volver al servicio que en otra forma se habría desechado, a una fracción del costo de una nueva.

La razón principal para reacondicionar válvulas es ahorrar dinero. No sólo se evita la compra de una válvula nueva y más costosa, sino también las modificaciones a la tubería que se podrían necesitar para instalar una válvula de otro diseño. Además, el tiempo para reacondicionar una válvula es de pocas semanas en lugar de los meses de entrega de válvulas nuevas.

¿Qué incluye el trabajo de reacondicionamiento?

El reacondicionamiento de válvulas implica mucho más que la simple limpieza y volver a pintar; es un proceso mediante el cual se reconstruyen las válvulas para lograr características de funcionamiento iguales a las de una válvula nueva. Esto se logra mediante la prueba de las válvulas reacondicionadas con las especificaciones para las válvulas nuevas.

El procedimiento típico para reacondicionamiento es:

- 1.- Desarmar la válvula y limpiar los componentes con productos químicos o con chorro de arena.
 - 2.- Inspeccionar con cuidado los componentes. Se toma la decisión de reemplazar las piezas gastadas.
 - 3.- Soldar para rellenar superficies gastadas o maquinar para producir superficies nuevas. Se tienen en almacén piezas semiacabadas y refacciones (piezas de repuesto) para producir piezas nuevas terminadas.
 - 4.- Armar la válvula con empaquetaduras nuevas y, si se requiere con tornillos nuevos.
 - 5.- Probar la válvula reacondicionada de acuerdo con las especificaciones para válvulas nuevas.
- Muchos reacondicionadores de válvulas otorgan una garantía sobre su trabajo por el mismo tiempo que para una válvula nueva.

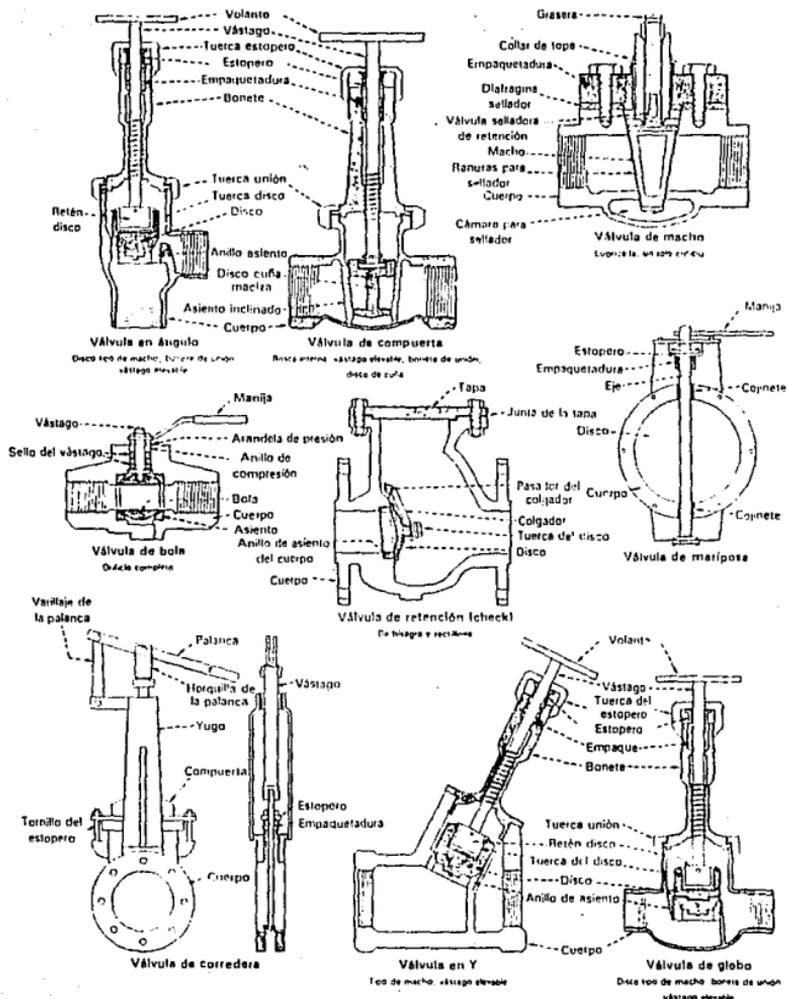


Fig. 7.1.- Componentes de diversos tipos de válvulas

7.5.- Presentación y preparación de reportes de mantenimiento.

Con el resto de las acciones que comprende la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, el registro de los datos tanto operacionales como administrativos recabados diariamente contribuye a formular las políticas de operación más convenientes para la planta, lo cual, como fin último, permite conseguir el cumplimiento de las metas fijadas y el control de calidad de las aguas renovadas producidas.

Para facilitar lo anterior, resulta conveniente la utilización de formas prediseñadas, para anotar toda la información pertinente como son las fichas de mantenimiento preventivo.

7.5.1.- Ficha de mantenimiento preventivo.

Estas fichas tienen por objetivo el facilitar el mantenimiento preventivo del equipo utilizado en el proceso, además de permitir controlar mejor el desarrollo de estas actividades, programandolas adecuadamente.

En las fichas deben anotarse los siguientes datos:

- 1) Nombre de la planta de tratamiento de aguas residuales:
Nombre de la planta donde se hace la revisión y mantenimiento del equipo: Planta Cerro de la Estrella.
- 2) Nombre del equipo: Ejemplo: Bomba de recirculación No. 1.
- 3) Localización en la planta de tratamiento: Lugar y etapa del proceso donde se localiza el equipo: Ejemplo: Sala de recirculación.
- 4) Actividad realizada: Que tipo de servicio y/o trabajo se le realizó al equipo, ejemplo: Lubricación.
- 5) Nombre de la persona que realizó el mantenimiento del equipo.
- 6) Supervisión: Nombre de la persona que supervisó el mantenimiento.
- 7) Comentarios: Se realizan los comentarios acerca del funcionamiento del equipo y también del estado de las piezas que lo componen, además de reportar las situaciones anormales que se presente, o bien, si no se realizan las actividades programadas, anotar la causa. Por último, debe anotarse en el siguiente renglón, la fecha del siguiente mantenimiento.

7.5.2.- Bitácora de Operación.

Es importante llevar un eficiente control de las operaciones de la planta en general, en el caso del sistema de recirculación de los lodos activados, esta bitácora sirve para prever contingencias con el equipo en circunstancias inusitadas de operación, y puede servir para tomar medidas de precaución en la operación del sistema y evitar daños a los equipos, lo cual sería de gran ayuda para el mantenimiento del equipo, así como el registro de daños al equipo por operación en condiciones poco usuales, lo cual permitiría llevar un control para efectuar mantenimientos periódicos.

La bitácora de operación debe llevarse por cada turno que se trabaje en la planta y de esta manera, el operador del turno siguiente, tendrá una amplia y precisa información de la operación de la planta o de las actividades programadas.

En la bitácora de operación deben anotarse los siguientes datos:

- a) Nombre de la planta.
- b) Fecha: Día, mes y año en el que se está llevando a cabo la operación.
- c) Turno en el que se está trabajando.
- d) Nombre del jefe del turno.
- e) Reporte de gastos: Dos veces por turno se reportarán los siguientes gastos:
 - Caudal influente a la planta (agua residual que entra a la planta) en litros por segundo y la hora en que se realizó la medición.
 - Recirculación de los lodos activados en litros por segundo, y la hora en que se realizó la medición, si se realizaron variaciones en la recirculación anotarlas y justificarlas.
 - Purga. Debe anotarse el gasto de purga en litros por segundo y la hora en que se realizó la medición y si se realizaron variaciones en la purga anotarlas y justificarlas.
 - Cloro. Anotar el gasto de cloro en litros por segundo que se suministró a la desinfección del agua tratada y a la hora en que se midió el caudal.
 - Efluente. Debe anotarse el gasto de agua renovada, en litros por segundo, que sale de la planta, la hora en que se realizó la medición del caudal y las características del agua.
 - En las observaciones se anotarán anomalías en la operación de la planta y desperfectos de los equipos, así como revisiones y composturas hechas al sistema.

BITÁTORA DE OPERACION							
PLANTA _____				TURNO _____			
FECHA _____				JEFE DE TURNO _____			
UNIDAD I				UNIDAD II			
REPORTE DE GASTOS				REPORTE DE GASTOS			
PUNTO	GASTO	HORA	CARACTERISTICAS	PUNTO	GASTO	HORA	CARACTERISTICAS
Infuente				Infuente			
1/a				1/a			
Reactor				Reactor			
1/a				1/a			
Purga				Purga			
1/a				1/a			
Are. secund				Are. secund			
1/a				1/a			
Ciclo				Ciclo			
1/a				1/a			
Fluente				Fluente			
1/a				1/a			
OBSERVACIONES				OBSERVACIONES			

Fig. 7.3.- Bitácora de operación de la planta de Tratamiento de Agua Residual.

**CAPITULO VIII.- ESTUDIO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE
LOS LODOS ACTIVADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL.**

8.1.- Generalidades.

En este capítulo se analizarán los costos que implica la construcción del sistema de recirculación de los lodos activados de este tratado, se obtendrá el costo de operación del sistema, se obtendrá un costo anual aproximado del mantenimiento del sistema, y se realizará el costo anualizado de la inversión para este sistema.

8.2.- Costos.

Cuadro 8.1.- Costos del Cárcamo de lodos.

CONCEPTO	MANO DE OBRA	MATERIALES	MAQUINARIA	CANTIDAD	COSTO
Excavación con retroexcavadora	N\$2.80 por metro cúbico	-----	N\$42.70 por metro cúbico	64,14 m ³	N\$2,918.00
Plantilla de concreto pobre para piso del cárcamo	N\$13.82 por metro cuadrado	N\$32.00 por metro cuadrado	N\$0.70 por metro cuadrado	23,75 m ²	N\$1,104.85
Armado del cárcamo (Varilla del #4 de 1/2 pulg. de diámetro)	N\$1,141.- por tonelada	N\$3,492. por tonelada	-----	3.471 TON	N\$16,081.-
Cimbra y descimbra (incluye acabados locales, habilidad o y terminado del área colada)	N\$25.00 por metro cuadrado	N\$25.40 por metro cuadrado	-----	114.38 m ²	N\$5,764.75
Concreto fabricado en obra (f'c=200 Kg/cm ²)	N\$62.60 por metro cúbico	N\$295.50 por metro cúbico	N\$7.70 por metro cúbico	18,30 m ³	N\$6,694.14
TOTAL=	N\$8,473.3	N\$21,193	N\$2,896.3		N\$32,562.6

Cuadro 8.2.- Costos del equipo de bombeo.

CONCEPTO	MANO DE OBRA	MATERIA LES	MAQUINA RIA	CANTIDAD	COSTO
Bombas	N\$13,264 por bomba	N\$27,530 por bomba	N\$1,100 por bomba	3 bombas	N\$125,682
TOTAL	N\$39,762	N\$82,590	N\$3,300		N\$125,652

Cuadro 8.3.- Costos de la línea de conducción.

CONCEPTO	MANO DE OBRA	MATERIA LES	MAQUINA RIA	CANTI DAD	COSTO
Tubería (8 pulg. cédula 108)	N\$28.00 por metro	N\$99.40 por metro	N\$1.90 por metro	52.55 metros	N\$6,794.71
Tubería (16 pulg. cédula 10)	N\$66.30 por metro	N\$241.40	N\$2.70 por metro	111.18 metros	N\$34,510.3
Bridas (8 pulg. cuello soldable cara plana, incluye soldadura, tornillería y empaques)	N\$24.90 por brida	N\$119.80 por brida	N\$7.70 por brida	49 bridas	N\$7,467.60
Bridas (16 pulg. cuello soldable cara plana, incluye soldadura, tornillería y empaques)	N\$217.50	N\$857.50	N\$23.90	22 bridas	N\$24,175.8
Válvulas de compuerta (8 pulg. bridadas vástago ascendente clase 150 ANSI, ASTM-216 grado WCB)	N\$314.00	N\$2,512.6		7 Válvulas	N\$19,786.2

Válvulas Check (8 pulg. bridadas clase 150 ANSI, ASTM-216 grado WCB tipo balancín	N\$427.40	N\$2.877.5		3 Válvulas	N\$9.914.70
"T" Reducción (16 pulg. a 8 pulg. bridadas)	N\$190.00	N\$947.60		6 "T"s.	N\$6.825.60
Codo 90° (16 pulg. bridados)	N\$170.00	N\$1.545.0		1 codo	N\$1.715.00
Codo 45° (16 pulg. bridado)	N\$145.00	N\$1.236.0		1 codo	N\$1.381.00
Codo 90° (8 pulg. bridado)	N\$62.00	N\$319.30		15 codos	N\$5.719.00
Reducción concéntrica de 16 pulg. a 8 pulg.	N\$130.00	N\$721.00		1 Reducción	N\$851.00
Excavación para cubrir la tubería de 16 pulg. con retroexcavadora y acarreo libre a 20 m.	N\$2.40 por metro cúbico		N\$5.20 por metro cúbico	122.12 metros cúbicos	N\$928.11
TOTAL	N\$21.136	N\$96.995	N\$1.938		N\$120.069

8.3.- Costos de operación.

Los costos de operación son los implicados en la construcción del sistema de recirculación de los lodos activados, como son:

- Mano de obra.
- Materiales.
- Maquinaria.
- Energía eléctrica.
- Auxiliares.

No se utilizan auxiliares en la operación del sistema de recirculación de los lodos activados (auxiliares podrían ser el cloro, carbón activado, etc.).

a) Costos de mano de obra.

-Cárcamo.	N\$8,473.30
-Equipo de Bombeo.	N\$39,762.00
-Línea de Conducción.	N\$21,136.00

	N\$69,371.30

b) Costos de Materiales.

-Cárcamo.	N\$21,193.00
-Equipo de Bombeo.	N\$82,590.00
-Línea de Conducción.	N\$96,995.00

	N\$200,778.00

c) Costos de Maquinaria.

-Cárcamo.	N\$2,896.30
-Equipo de Bombeo.	N\$3,300.00
-Línea de Conducción.	N\$1,938.00

	N\$8,134.30

8.3.1.- Costo de operación.

-Mano de obra.	N\$ 69,371.30
-Materiales.	N\$200,778.00
-Maquinaria.	N\$ 8,134.30

	N\$278,283.60

8.4.- Costo anualizado de la Inversión.

Tabla 8.4.- Costos anuales de la Inversión.

CONCEPTO	COSTO
Consumo de Energía Eléctrica al año por las bombas (3 bombas, del capítulo 3 se saca el dato de consumo de energía eléctrica al año por bomba).	N\$63,911.79
Costo de Mantenimiento y operación del sistema al año (la experiencia en plantas de tratamiento da un valor aproximadamente del 20 al 25% anual del costo de operación, en este caso utilizaremos el 25%)	N\$69,570.90
Costo por compras anuales con una vida útil de 10 años del sistema (depreciación del 9% anual por el método de los dígitos) y costo de recuperación del 10% del precio total del sistema.	N\$25,045.52
TOTAL. COSTO ANUALIZADO DE LA INVERSIÓN.	N\$158,528.21

G L O S A R I O.

Aerobios.- Organismos que utilizan oxígeno molecular (O_2) disuelto en el agua para sus funciones vitales.

Anaerobios.- Organismos que utilizan, para cumplir sus procesos vitales, el oxígeno contenido en los sólidos, orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas, liberado en la descomposición de éstos.

Alcalinidad.- Parámetro que representa el contenido de carbonatos, bicarbonatos, e hidróxidos en el agua, expresado comúnmente en términos de mg/l de $CaCO_3$.

Bacterias.- Organismos unicelulares que, en el caso del proceso de lodos activados, son responsables de la degradación de la materia orgánica contenida en ellas, debido a que se han adaptado a utilizarla como sustrato o alimento.

Biodegradabilidad.- Comportamiento de los compuestos orgánicos ante un sistema de oxidación biológica que depende en forma básica, de su estructura química y de la adaptación que los microorganismos encargados de la degradación hayan desarrollado respecto a dichos compuestos.

Biodegradación.- Se define así a la oxidación de compuestos orgánicos complejos, llevada a cabo por microorganismos que los transforman a sustancias orgánicas estables, dióxido de carbono y agua.

Efluente.- Aguas negras, agua u otro líquido crudo o parcialmente tratado, que sale de un depósito, estanque o planta de tratamiento o alguna parte de ella.

Flóculo.- Agrupación de materia orgánica, nutrientes y microorganismos formada por aglutinamiento de los componentes.

Lodos activados.- Sólidos sedimentados en el tanque de sedimentación secundaria que contienen microorganismos adaptados a la biodegradación del desecho influente. Son recirculados al tanque de aeración para mantener una concentración constante de microorganismos.

Proceso.- Conjunto de operaciones con un propósito común, por ejemplo: el proceso de lodos activados, en su forma más sencilla se compone de las operaciones de aeración y sedimentación.

Sedimentación.- El proceso de asentar y depositar la materia suspendida que arrastra el agua y otros líquidos, por gravedad. Esto se logra disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte del material suspendido.

Sustrato.- Se define así a la materia orgánica disponible como fuente de alimento para los microorganismos.

C O N C L U S I O N E S .

En una planta de tratamiento de aguas residuales que tenga el proceso de lodos activados, es de vital importancia la recirculación de los lodos activados al tanque de aeración para una depuración más rápida y eficiente del agua a tratar. es importante conocer las características de los lodos activados para que al conducirlos por tubería no sean dañados o destruidos por turbulencia debido a la velocidad de flujo en las tuberías, ya que como vimos en el tratado, los lodos son compuestos por microorganismos y materia orgánica existente en el agua residual y son fácilmente destruidos por movimientos bruscos, es importante también el tipo de equipo de bombeo que se empleará, ya que los lodos pueden llegar a atascar las bombas y producir daños severos al equipo, de manera que debe ser un equipo que tenga características especiales para manejar líquidos lodosos, en este tratado se encuentran algunos datos respecto al manejo y traslado de los lodos para que éstos no sufran ningún daño y la depuración del agua residual sea lo más eficiente posible.

Uno de los objetivos de este tratado es el de dar a conocer los equipos que componen este sistema y los costos que implica la construcción de este sistema, así como el mantenimiento del mismo, lo que nos dice que se debe de tener cuidado con las instalaciones, su operación, y revisarlas periódicamente para evitar reparaciones y gastos innecesarios.

Un buen diseño de un sistema de recirculación de lodos activados, así como una buena distribución de los sistemas en una planta de tratamiento de aguas residuales y el mantenimiento preventivo y correctivo adecuado y programado de todos los sistemas de la planta, puede hacer que una planta de tratamiento de aguas residuales sea más económica tanto en su construcción como en su operación.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- METCALF AND EDDY
"TRATAMIENTO Y DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES"
LABOR
MEXICO 1988.
- 2.- WHITE FRANK M.
"MECANICA DE FLUIDOS"
McGRAW-HILL
MEXICO 1983.
- 3.- KARASSIK IGOR
CARTER ROY
"BOMBAS CENTRIFUGAS"
MEXICO 1987.
- 4.- ING. CENDEJAS NEGRETE MOISES
"INGENIERIA DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES"
ESIME
MEXICO 1990
- 5.- ING. SOTELO AVILA GILBERTO
"HIDRAULICA GENERAL"
LIMUSA
MEXICO 1990.
- 6.- HOPERMAN RICHARD J.
"ADMINISTRACION DE PRODUCCION Y OPERACIONES"
CECSA
MEXICO 1987.
- 7.- NALCO
"MANUAL DEL AGUA. SU NATURALEZA Y APLICACIONES"
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA
MEXICO 1988.
- 8.- MARKS
"MANUAL DEL INGENIERO MECANICO"
McGRAW-HILL
MEXICO 1989.
- 9.- CRANE-GREENE
"SERIE DE FLUJO DE FLUIDOS"
McGRAW-HILL
MEXICO 1990.
- 10.- FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
INDUSTRIALES Y REUSOS"
UNAM
MEXICO 1991.