Universidad Nacional Autónoma

de México

FACULTAD DE QUIMICA

PLANTEAMIENTO PARA LA RESOLUCION DE UN PROBLEMA DE CONTAMINACION INDUSTRIAL DE AGUAS

77

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

FERNANDO ALFREDO CASTAÑEDA RAMOS

México, D. F. 1976

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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 esta 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.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE:	JORGE SPAMER GARCIA CONDE
VOCAL:	RAMON VILCHIS ZIMBRON
SECRETARIO:	VIRGILIO GONZALEZ POZO
1er SUPLENTE:	JORGE LEMCARINI PENICHE
2o SUPLENTE:	ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

TEMA DESARROLLADO EN EL INSTITUTO DE GEOFISICA, DEPARTAMENTO DE CONTAMINACION AMBIENTAL? TORRE DE CIENCIAS

SUSTENTANTE:	ASESOR DEL TEMA:
FERNANDO ALFREDO CASTAÑEDA RAMOS	VIRGILIO GONZALEA POZO

CLAS. Tesis
ADQ. 1976
FECHA
PROC. M1. 78 80

A DIOS

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que de una manera u otra contribuyeron con su ayuda al desarrollo de esta tesis.

Quiero darles las gracias especialmente al Ing. Humberto Bravo, al Ing. Virgilio Gonzalez Pozo y al Ing. Jorge Spamer por el tiempo que me dedicaron.

Asi mismo agradezco la información y todas las atenciones que Syntex de México tuvo conmigo.

INDICE

OBJETIVO 1

INTRODUCCION 2

CAPITULO I. REGLAMENTO FEDERAL PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS 6

CAPITULO II. DESCRIPCION DEL PROBLEMA 15

CAPITULO III. SOLIDOS SEDIMENTABLES 30

CAPITULO IV. TEMPERATURA 61

CAPITULO V. TRATAMIENTO DE LOS LODOS 92

CAPITULO VI. NEUTRALIZACION 107

CONCLUSIONES 115

BIBLIOGRAFIA 117

ANEXOS

OBJETIVO

"El término Medio Ambiente no representa un concepto - abstracto, ni algo que concierna exclusivamente a la estética -- o a una persona en particular, aunque debe y puede envolver di - chos aspectos. El hombre se ve afectado, en gran medida, por sus alrededores. Nuestra naturaleza física, nuestra salud mental, -- nuestra cultura e instituciones, lo mismo que nuestra superviven cia, están directamente relacionadas y se ven afectadas por el - medio ambiente en que vivimos." (1)

El equilibrio de la naturaleza es vital para la supervivencia y el buen desarrollo de la vida humana, por lo tanto el hombre está obligado a hacer todo lo posible para conservarlo. - Para lograrlo la iniciativa pública y privada deben cooperar a - la realización del plan para prevenir y controlar la contamina - ción ambiental que trata de llevar a cabo el Gobierno Federal.

Esta tesis tiene como objetivo el desarrollo del pro - yecto para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria privada (Syntex en Cuernavaca), de tal forma que las aguas sometidas a dicho tratamiento cumplan -- con las normas de calidad requeridas, como primer paso, con el- Reglamento Federal para la Prevención y el Control de la Contaminación de Aguas, contribuyendo así a la obtención de un medio ambiente mas sano en el que el hombre pueda vivir mejor.

INTRODUCCION

La contaminación del medio ambiente no es nada nuevo, - ha existido desde la aparición del hombre en la tierra: pero no- se convirtió en un problema hasta que los hombres empezaron a -- reunirse en comunidades acumulándose gran cantidad de desperdi - cios en lugares reducidos, siendo insuficiente la capacidad de - recuperación de la naturaleza.

Al principio solo le preocupó al hombre la contamina - ción de las aguas, al ser ésta causa de la mayoría de las epide- mias padecidas por la humanidad antiguamente, pero al finalizar- la Segunda Guerra Mundial, debido a que el desarrollo industrial alcanzado provocó una gran generación de residuos, el hombre se- vió obligado a tomar conciencia del problema cuando empezó a sen tir los efectos que en el medio ambiente provocaban sus degechos.

El problema alcanzó grandes niveles al incrementarse - la población y la industria en los últimos años, originándose la necesidad de reutilizar una agua que ya había sido empleada y -- contaminada.

Es al hombre a quien le corresponde solucionar el pro- blema causado por el mismo al desequilibrar la naturaleza. Debe- por tanto, tomar las medidas necesarias para restablecer el or - den natural lo mas rápidamente posible, pues el problema se in - crementa cada vez a mayor velocidad al crecer tanto la población como la industria en forma exponencial, calculándose que para el año 2000 se generarán 10 veces mas desperdicios a los producidos en la actualidad y no sabiéndose si la naturaleza será capaz de- soportar tal cantidad de factores externos que tiendan a alterar su equilibrio. (2)

Para poder resolver este problema no basta con emitir- leyes tendientes a controlar la contaminación, pues el problema- tiene raices muy profundas, se necesita de nuevos conocimientos- y nuevas actitudes por parte del Gobierno Federal, del sector -- privado y de todos los ciudadanos en general.

El sistema educacional actual juega un papel muy impor tante en la obtención de esta revolución en la forma de ser y de

pensar de las instituciones y los individuos. Deben de prepararse profesionistas especializados con conocimientos de disciplinas relacionadas con la contaminación, sus fuentes y todas las técnicas existentes para la consecución de una alta calidad en el ambiente.

También es necesario que la sociedad completa tome conciencia de la relación existente entre el hombre y el medio ambiente que lo rodea y para lograrlo es necesario enseñar y desarrollar los conceptos relativos al ambiente en cada una de las etapas de nuestro proceso educacional.

Mientras se haga el cambio, es necesario elaborar un programa tendiente a evitar que la contaminación nos ahogue.

Al desarrollar cualquier programa para controlar la contaminación debe considerarse la experiencia obtenida de situaciones pasadas, evitándose la repetición de errores y aprovechándose los aciertos. Así fué como se descubrió la importancia de lograr el interés y la colaboración del público para alcanzar el exito con un programa.

El primer paso a dar antes de elaborar el programa consistente en definir el problema, para poder estudiarlo posteriormente. Una vez conocido se podrá desarrollar el plan de acción que conduzca a los objetivos deseados, considerando todos los factores que puedan ayudar a la obtención de un programa mas eficiente.

DEFINICION DEL PROBLEMA.

El problema consiste en los desperdicios, desperdicios aparecidos con el hombre. La naturaleza de un sistema cerrado donde la energía se transforma en vegetación, la vegetación en animales que a su vez pasan a formar parte del aire y la tierra en donde vuelve a empezar el ciclo una vez mas.

ESTUDIO DEL PROBLEMA.

Al estudiar el problema ligeramente, nos limitaremos a la contaminación del agua y para ello necesitamos saber que es un contaminante.

Por contaminante se entiende todo aquello que altera la calidad de las aguas (4). O sea contaminante es la sal de las

tierras pues afecta la calidad de las aguas que por ella corre,- el virus de la hepatítis, cualquier substancia química que por - la red municipal de drenaje llegue a un cuerpo receptor, la temperatura de aguas residuales, etc...

Las principales fuentes de contaminación son los resi - duos industriales (60% en los U.S.A.), los municipales (25%) y - los que provienen del campo (15%). (4).

Como se observa por los porcentajes anteriores, la fuente mas grande de contaminación en áreas industrializadas proviene de las industrias, pues son enormes y de gran variedad sus -- desechos. Así por ejemplo, la demanda de oxígeno por este tipo - de desperdicios es cuatro veces superior a la demanda de los --- desperdicios municipales. Existen además, una gran variedad de - nuevos compuestos químicos residuales muy difíciles de controlar. lo mismo que pequeñas cantidades de metales pesados, como el mercurio, que ya ha causado graves problemas en Suecia y Japón.(5)

El campo también contribuye a la contaminación del agua por la gran cantidad de productos químicos añadidos a las tie -- rras para mejorar y proteger las cosechas y por los alimentos -- especiales empleados para favorecer el crecimiento de los animales.

Otras fuentes de contaminación son los sedimentos aca - rreados por las aguas al erosionarse el terreno, los aceites derramados por compañías petroleras, los drenajes de las minas, -- etc...

Por último y en el estudio deben considerarse los efectos del agua contaminada, la cual es medio transmisor de diver - sas epidemias, puede provocar enfermedades,(diarrea, salmoneló - sis, tifoidea, etc...) puede contener substancias venenosas pa - ra los diferentes tipos de seres vivos. También es causa de la - disminución de lugares recreativos al impedir la natación, la -- pesca y todo tipo de deportes acuáticos en las aguas contamina - das. Disminuye las cualidades estéticas del agua, afecta la pesca comercial al decrecer todo tipo de vida. Origina también problemas a las cosechas y ocasiona problemas en el suministro de - aguas a la industria y al municipio.

Conocido el problema se pueden tomar las disposiciones-

necesarias para controlarlo.

Para que sea justo y pueda alcanzar el éxito, las medidas tomadas deben ser aplicadas sin discriminación alguna, buscando cumplir los dos puntos siguientes:

1) El usuario tiene derecho de que el agua por él necesitada esté en condiciones de ser usada.

2) El usuario tiene la obligación de retirar de las aguas cualquier contaminante por él añadido, que las condiciones tecnico-económicas actuales permitan, de tal forma que el agua por él desechada pueda ser reutilizada por otro usuario corriente abajo, en las mejores condiciones posibles.

REGLAMENTO FEDERAL PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AGUAS

El encargado mas idoneo para tomar las medidas necesarias para prevenir y controlar la contaminación del ambiente es el Gobierno Federal al tener la capacidad de hacer que se cumplan las leyes y los reglamentos establecidos, a todo lo largo del territorio nacional.

Los organismos, dentro del Gobierno Federal, encargados de prevenir y controlar la contaminación ambiental atraves de la Ley Federal son (6) :

1) La Secretaría de Salubridad y Asistencia. La calidad del ambiente puede afectar la salud de la población.

2) La Secretaría de Recursos Hidráulicos, con materia de prevención y control de la calidad de las aguas.

3) La Secretaría de Agricultura y Ganadería, en materia de prevención y control de la contaminación de los suelos.

4) La Secretaría de Industria y Comercio, en materia de la prevención y control de la contaminación por actividades industriales.

México ya tiene en la actualidad problemas de contaminación de diversos tipos, problemas que le han infligido graves daños, y que de no atacarse adecuadamente, tal vez produzcan consecuencias irreversibles, o cuando menos, difíciles de controlar y abatirse.

Para cuidar la calidad de las aguas el Gobierno Federal a emitido la Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (7) que considera tanto el avance de la tecnología y el crecimiento de la población con sus nuevos hábitos, como las tendencias de la civilización que demandan mayor uso de los recursos naturales.

La misión que se ha fijado el gobierno al elaborar el programa para la prevención y el control de la contaminación delas aguas consiste en (8):

1) Prevenir una contaminación mayor en las aguas la calidad del agua existente para las generaciones futuras.

2) Aumentar el valor actual del agua y los recursos con

ellas relacionados al tratar las aguas residuales para su benéfica reutilización.

3) Contribuir a la coordinación de un plan nacional en gran escala para la obtención de un medio ambiente equilibrado y saludable.

Para desarrollar el programa, es necesario identificar completamente el valor y la utilidad presente y futura de las aguas existentes dentro del territorio nacional, siendo las propiedades que definen estos factores la cantidad, la calidad y la accesibilidad del agua. Controlando estas propiedades se logrará la mejor disposición del agua.

Para alcanzar las metas fijadas se seleccionaron una serie de parámetros que pueden modificar el medio ambiente y que por tanto deben ser controlados. Los máximos tolerables fijados para estos parámetros deben ser revisados periódicamente a medida que nuevos conocimientos y nueva información es adquirida.

Para la conservación y el mejoramiento de las aguas nacionales el Gobierno Federal expidió el Reglamento para la Prevención y el Control de la Contaminación de las Aguas (9)

El reglamento puede ser dividido en tres etapas, la primera de las cuales incluye:

a) La descripción de las formas de solicitud para efectuar el registro de las aguas residuales.

b) Los plazos para el registro de dichas aguas.

c) El registro de las aguas ya mencionadas.

En su segunda etapa , el reglamento controla el tratamiento de las aguas residuales en lo concerniente a ciertos parámetros, lo que implica lo siguiente:

a) Fijar los límites permitidos para la descarga de las aguas residuales.

b) Fijar los lineamientos a seguir para cumplir con el reglamento.

c) Establecer un control para que los responsables cumplan lo prometido en el IPI.

d) Hacer que todos los afluentes no rebasen los máximos tolerables fijados para los 5 parámetros.

e) Vigilar contínuamente el cumplimiento de lo ante - - rior.

En su tercera etapa, el reglamento especifica que la Secretaría de Recursos Hidráulicos debe determinar las condiciones particulares de cada descarga según el uso posterior de las - -- aguas y para ello:

a) Continuará la vigilancia del cumplimiento de los 5 - parámetros ya establecidos.

b) Determinará las condiciones particulares para las -- descargas de las aguas residuales en función de las normas de calidad de los cuerpos receptores y de las características de las- descargas.

c) Indicará a los responsables las especificaciones que las descargas deberán cumplir para poder ser arrojadas a los - - cuerpos receptores.

d) Exigirá el cumplimiento de las mismas.

A continuación, el reglamento incluye un capítulo referente a las medidas de orientación y educación , en donde se -- destaca la actitud que debe tener el Gobierno Federal para la -- difusión , orientación y educación sobre el problema de la contaminación del agua.

Otro capítulo está dedicado a la vigilancia de las descargas, en donde se faculta expresamente a la Secretaría de Recursos Hidráulicos y a la Secretaría de Salubridad y Asistencia- para que, dentro de sus correspondientes ambitos de competencia, vigilen el cumplimiento de las disposiciones de la Ley Federal - para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.

El capítulo V está dedicado a las sanciones a las que - se harán acreedores los responsables de las descargas que no cumplan con las normas establecidas por el Reglamento.

Otro capítulo indica la forma de aplicar las sanciones- y en otro presenta la posibilidad de un recurso administrativo - de inconformidad con el cual puedan defenderse los responsables- de las aguas residuales.

Al final, menciona la "Acción Popular" para la denuncia de las fuentes contaminantes y termina dando las definiciones necesarias para la mejor comprensión del Reglamento.

La parte que mas nos interesa para el desarrollo de esta tesis es la referente a los máximos tolerables en las descargas de los 5 parámetros controlados pues nuestro objetivo es, como ya se dijo, el anteproyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria específica, para que éstas se encuentren dentro de los límites fijados por el Reglamento en la Tabla N° 1 de máximos tolerables, no habiendo sido fijadas condiciones particulares para la descarga por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

TABLA I	MAXIMOS TOLERABLES (9)
	I.- Sólidos Sedimentables.....1.0 ml/l
	II.-Grasas y Aceites.....70 mg/l
	III.-Materia Flotante.....Ninguna que pueda ser retenida en malla de 3mm.de claro libre cuadrado.
	IV.-Temperatura máx.....35°C
	V.-Potencial Hidrógeno.....4.5 - 10.0

También es necesario que las aguas no contengan ninguna substancia tóxica. Las concentraciones máximas de estas substancias están dadas en la Tabla N°3 del Reglamento en función del tipo de cuerpo receptor en el que no se derramarán las aguas residuales.

Los valores numéricos fijados como máximos tolerables que pueden variar de acuerdo a la capacidad de asimilación de desperdicios por parte de las aguas de los cuerpos receptores; capacidad que depende de las características físicas y de la cantidad de agua.

Los valores indicados en el Reglamento están basados en cierta medida en las normas de calidad de agua fijados para los U.S.A. (10).

Los máximos tolerables establecidos tienen por objeto eliminar en lo posible los efectos contaminantes que puedan presentarse al ser contenidos en exceso por el agua. Algunos de estos efectos son (11, 12 y 13):

1) Sabor y olor. Son dos características íntimamente relacionadas y que por lo tanto no pueden ser consideradas por separado. Por ellas el agua no puede ser tomada. Son originados

por los desperdicios industriales y municipales, así como por - causas naturales como la descompensación de ciertas algas.

2) Color y Turbidez. También son efectos que pueden -- ser reproducidos por la naturaleza o por la mano del hombre. El color en el agua es común en terrenos pantanosos o en zonas bos cosas, lo mismo que en aguas receptoras de desperdicios de fa - bricas de municiones, tenerías, etc... Disminuyen directamente- la población acuática, pues al decrecer la cantidad de luz que- penetra en el agua, se reduce la cantidad de plankton y otros - tipos de alimento para los peces.

3) Oxígeno. El oxígeno disuelto en el agua es utiliza- do por cierto tipo de bacterias en la descomposición aeróbica - de los desperdicios orgánicos, industriales o domésticos, des - prendiéndose bióxido de carbono.

Si el oxígeno contenido por el agua no es suficiente,- la descomposición será anaeróbica, produciéndose metano y acido Sulfhídrico, tornándose obscura el agua e impregnándose el am - biente de olores desagradables. Este ambiente favorece además - el desarrollo de gérmenes patógenos, perjudiciales a los hombres y a los animales superiores.

Por otro lado, al disminuir la cantidad de oxígeno se- interrumpe el crecimiento de la vegetación marina, extinguiéndo se una gran cantidad de variedades de peces y sobreviviendo so- lo cierto tipo de especies mas corrientes, resistentes a la con taminación de su medio ambiente, como por ejemplo las carpas.

La capacidad contaminadora de los desperdicios orgáni- cos es medida en función de su demanda bioquímica de oxígeno -- (BOD); siendo la cantidad de oxígeno disuelta en el agua una de las mejores formas de medir el bienestar del medio ambiente.

4) Toxicidad. Muchas son las substancias tóxicas con - tenidas por el agua, pero no son peligrosas para la vida si no- llegan a alcanzar altas concentraciones. Algunas de estas subs- tancias, venenosas para la vida humana, la vida acuática y la - vida silvestre son: arsénico, cianuro, arena, sulfuro, mercurio, desperdicios radioactivos, D.D.T., etc...

El efecto tóxico de estas substancias es muy variado,- destruyendo no solo diréctamente a los peces, sino también indi

rectamente, al destruir el alimento de otras especies.

La concentración considerada tóxica, varía de acuerdo- al tipo y a la cantidad de materiales disueltos en el agua. También se da el caso de que, al mezclarse dos substancias, su toxicidad es mucho mayor a la de los dos elementos por separado,- como en el caso de la mezcla de cobre y zinc.

5) Sólidos Sedimentables. Son originados por lodos industriales, aguas negras municipales, y tierra erocionada de la superficie terrestre.

Al sedimentar, pueden destruir la vida del fondo del - cuerpo receptor que sirve de comida a formas superiores, las -- cuales, sin comida, perecerán a su vez.

Si los sólidos sedimentables son de orígen orgánico,-- consumirán también el oxígeno del agua dando lugar a los efec - tos ya mencionados. Si son abrasivos como la arena, el carbón o el coque, pueden deteriorar tubería y bombas.

Además, este tipo de sólidos ocasiona problemas a la - navegación de ríos, lagos y puertos al depositarse en el fondo- del cuerpo receptor, y disminuye el valor estético de las aguas, lo mismo que su calidad de objeto recreativo.

Al estudiar a los sólidos sedimentables, se debe considerar la existencia de otro tipo de sólidos que están suspendidos, pero que por la acción química de ciertos compuestos, o -- por la acción biológica de ciertas bacterias en presencia de -- oxígeno, pueden flocular transformándose en sólidos sedimenta - bles.

6) Grasas y Aceites. (Petróleo). Uno de los principa - les efectos de este tipo de contaminación del agua es la disminución del carácter recreativo del agua, al proporcionarle a lagos, ríos y mares un aspecto desagradable.

Por otro lado, diversos tipos de algas, protozoas, larvas, huevos, etc...son destruidos por las grasas y aceites, al- interferir éste su respiración normal, su transpiración o la fotosíntesis.

Exceptuando los casos en los que la contaminación por- este concepto es extrema, la vida de los peces se ve afectada - generalmente en forma indirecta, al reducirse la cantidad de alimento disponible.

mida disponible.

El petroleo posee también, algunos constituyentes con características tóxicas.

Todo tipo de grasas y aceites consumen oxígeno al descomponerse, provocando, a su vez, problemas por este concepto.

7) Potencial Hidrógeno (pH). La acidez de las aguas se debe principalmente a la presencia de CO_2 , ácidos minerales y sales formadas por un ácido fuerte y una base débil.

La acidez provoca la corrosión de metales de estructuras y de diferentes equipos de navegación, la desintegración del concreto de los colectores de aguas negras y de los pilotos de los puentes de los puertos. Afecta al plankton, principalmente a las plantas verdes microscópicas, las que contribuyen a producir el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua.

Los ácidos minerales cuyo pH es interior a 4.0 atacan directamente y en forma letal a las células de animales y plantas pequeñas. Dañan también al sistema respiratorio de los peces, variando la cantidad de oxígeno que un pez puede utilizar por hora, por unidad de peso.

La alcalinidad de las aguas se debe principalmente a los residuos industriales. Afecta el sistema cardiovascular y el sistema respiratorio de los peces. Incrementa el nivel tóxico de ciertas substancias, como el amoniaco. Perjudica a la industria alimenticia y de bebidas, pues neutraliza el sabor natural producido por diferentes compuestos y hace a las bebidas menos suceptibles a la acción de las bacterias al alcalinizar el medio. Es cierto también que favorece a otras industrias al inhibir la corrosión de las aguas.

El pH de las aguas también es importante para la agricultura, pues una acidificación excesiva de las tierras que contienen niquel puede dañar la vegetación que en ellas crece, mientras que una alcalinidad elevada aumenta la salinidad de las tierras.

8) Nutrientes. Algunos elementos como el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el azufre son escenciales para el desarrollo biológico, siendo las dos primeras consideradas como los nutrientes básicos.

Los desperdicios que contienen estos elementos estimu - lan el crecimiento del plankton en las aguas superficiales, el - cual es molesto en exceso y frecuentemente crea problemas de sabor y olor en el agua. La abundancia de cierto tipo de algas - - (verde-azulosas) es perjudicial, pues exsudan substancias tóxi - cas para los peces y los animales de corral.

9) Temperatura. La temperatura es un factor importante- para muchas industrias que emplean agua en una gran variedad de - procesos, incluyendo los de enfriamiento. También es un elemento importante del hábitat de la vida acuática.

Es un elemento contaminante proporcionado casi exclusiva mente por los desechos industriales.

Algunos efectos de un incremento en la temperatura son los siguientes: Al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua además de incrementarse la demanda de oxígeno, los depósitos de putrefracción de lodo, las zonas - aeróbicas y el crecimiento de los hongos en los sistemas colectores de aguas negras. La temperatura del agua afecta el crecimiento de las plantas regadas con ella en diferentes formas según el tipo . El incremento de la temperatura favorece la des - composición de la materia orgánica. Y al no haber suficiente — oxígeno , el medio facilita al desarrollo de bacterias y hongos que le dan un carácter insalubre al agua.

Los procesos de tratamiento de agua se ven afectados- por la temperatura de las aguas, así la filtración es mejor en- invierno que en verano, la floculación-sedimentación es mejor - en el verano, la cantidad de alumbre requerida para disminuir - su calor , disminuye al subir la temperatura y los efectos bacte ricidas de los desinfectantes aumentan.

La vida marina también se ve afectada por el incre — mento de la temperatura del agua en la forma siguiente:

a) Altas temperaturas disminuyen la cantidad de oxíge no disuelto con el que respiran los peces.

b) Altas temperaturas aumentan el metabolismo, la res piración y la demanda de oxígeno.

c) La toxicidad de una gran variedad de substancias - se intensifica al elevarse la temperatura.

d) Altas temperaturas disminuyen la cantidad de peces - al favorecer el crecimiento de hongos y la putrefacción de los - depósitos de lodo.

e) Existe una temperatura máxima que cada especie puede soportar, aunque existan las condiciones óptimas en cuanto a los otros parámetros se refiere.

f) Cambios repentinos y frecuentes en la temperatura -- del agua hacen la vida dificil dentro de ella.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El problema a solucionar en el desarrollo de esta tesis consiste en encontrar una forma de tratamiento adecuado para las aguas residuales pertenecientes a la fábrica de hormonas de SYNTEX a partir del barbasco, con el objeto de cumplir con las normas de calidad fijadas por el Gobierno Federal.

Para poder proponer una posible solución es necesario conocer la calidad y cantidad de las aguas a tratar, así como la localización de los focos contaminantes.

Para lograrlo es necesario analizar las aguas y medirlos gastos en cada una de las ramas del proceso, en donde pueda existir alguna operación que origine la contaminación.

El análisis de las aguas se hizo basándose en las "Normas Oficiales de Muestreo y Análisis de Laboratorio para Aguas Residuales" y en el "Standard Methods" (14 y 15).

Medición del Gasto.

La medición del gasto total se hizo en el colector general, a donde llegan dos drenajes de aguas químicas de la planta y dos de aguas negras.

El aparato empleado fue un medidor de flujo tipo Parshall debido a que presenta las ventajas siguientes:

1) Su diseño estrucutural es muy simple y por lo tanto resulta barata su construcción.

2) La estructura trabaja eficientemente aún cuando la variación del frujo sea muy grande.

3) No existe el problema de azolve aguas arriba del medidor, ni en su estructura misma debido al aumento de la velocidad del fluido, lo que lo mantiene siempre libre de obstrucciones conservando siempre su precisión.

4) La velocidad de llegada de las aguas no tiene prácticamente ninguna influencia en la determinación del gasto, por lo que se puedè prescindir de las cámaras de reposo.

5) La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las de otros medidores.

Este tipo de medidor evita las falsas lecturas que pudieran tenerse con otros medidores debido a los sólidos sedimentables.

La determinación de los gastos en los medidores Par -- shall se hace por medio de las fórmulas empíricas encontradas -- por Parshall al analizar los resultados obtenidos en sus nume - rosos experimentos usando medidores de diferente tamaño.

Al aumentar las capacidades de los medidores arbitra - riamente, Parshall encontró que una misma fórmula daba el gasto en medidores cuyo tamaño estaba comprendido entre ciertos lí mites, lo que indicaba que el fenómeno natural no se alteraba - por la forma irregular de variar las dimensiones, conservándose la misma expresión matemática. Cosa parecida sucedió con otros- fenómenos naturales como la pérdida de carga en el medidor. De- bido a lo anterior, se hace evidente que las fórmulas encontra- das por Parshall en sus experimentos son igualmente válidas pa- ra estructuras de dimensiones intermedias y por lo tanto, para- diseñar un medidor Parshall, solo se necesita efectuar una in - terpolación de los valores de las dimensiones de los medidores- con los cuales Parshall experimentó.

Por lo tanto, las dimensiones del medidor que fué ne - cesario instalar para medir el gasto del colector general, se - obtuvieron de la literatura, siendo los valores encontrados los siguientes:

Valores encontrados en la literatura (16,17).
(Ver figura 1)

W = 0.152m	F= 0.309m
A = 0.622m	G= 0.610m
B = 0.610m	K= 0.076m
C = 0.394m	N= 0.114m
D = 0.394m	X= 0.051m
E = 0.457m	Y= 0.076m

Gasto límite para descarga libre:

MAX. = 110.5 l/seg
MIN. = 1.4 l/seg.

El gasto se mide por la fórmula siguiente:

$$Q = 0.3812\ Ha^{1.58} \text{ - - - - - - - ec (1).}$$

Donde: Q = Gasto (M^3/seg)
Ha= Carga (m)

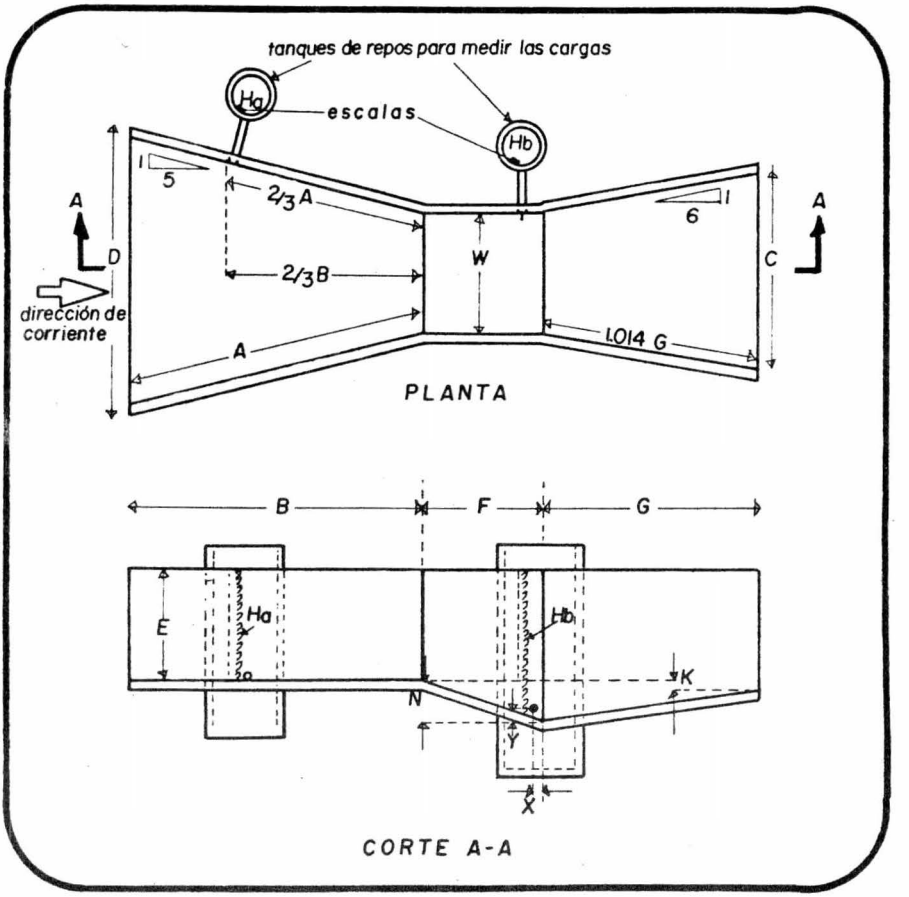


FIG. No.1 —— DIMENSIONES EN MEDIDORES PARSHALL

Para poder emplear esta fórmula es necesario que el medidor trabaje con descarga libre, o sea cuando S es menor de 0.70, siendo Hb = Carga cercana a la salida

$$S = \frac{\text{Hb = Carga cercana a la salida}}{\text{Ha = Carga cercana a la entrada}} \quad \text{ec (2)}$$

Estudiando las diferentes operaciones que se realizan dentro de la planta se encontró que la nave 1, donde se efectúa la hidrólisis del barbasco, era la principal fuente contaminante, por lo que se dicidió calcular también el gasto de dicha nave y analizar la calidad de las aguas provenientes de éste afluente para poder así comparar los datos obtenidos con los del colector general y así poder decidir si se trataba solo las aguas de la nave 1, o si era suficiente, tratar todas las aguas.

El gasto de la nave 1 se obtuvo midiendo cúanto tardaba en llenarse un tanque de agua. Estas mediciones solo se hicieron durante un periodo corto de tiempo.

Los flujos encontrados se presentan en la tabla II.

TABLA II. Gastos de Nave 1.

		SEPTIEMBRE				
		24	25	26	27	
GASTO (l/seg)	Máx.	5.8	8.6	6.0	7.1	
	Med.	5.2	5.2	3.9	6.9	
	Min.	1.4	0.5	0.0	2.2	
		OCTUBRE				
		1	2.	7	8	11	PROM.
GASTO (l/seg)	Max.	10.1	7.0	7.0	9.7	9.2	7.8
	Med.	6.4	6.1	5.5	6.0	5.4	5.3
	Min.	0.8	1.5	1.7	1.5	0.0	1.1

La tabla III muestra los valores obtenidos de las muestras tomadas en el colector general.

TABLA III Valores obtenidos con muestras del colector general.

A)

FECHA / PARAMETRO	JULIO		AGOSTO	
	24	30	7	13
pH MAX.10 MIN.4.5	5.0	5.6	5.7	5.0
SOLIDOS SDIMENTABLES MAX. 1 ml/l.	5.5	3.4	2.3	0.5
TEMPERATURA MAX. 35°C	34.9	38.3	37.7	38.0
MATERIAL FLOTANTE (gr/l) Ninguna que sea retenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadrado	0.0018	0.0006	0.0000	0.0000
GRASAS Y ACEITES MAX. 70 mg/l.	37	45	28	17
Gasto l/seg.	9.2	11.0	22.1	23.1

Se reportan datos promedio.

B)

PARAMETRO. \ FECHA	AGOSTO		SEPTIEMBRE				
	21	28	5	13	17	23	
pH MAX. 10 MIN. 4.5	6.9 6.0 5.3	5.3 4.3 2.3	6.5 5.3 4.1	6.7 5.4 4.0	6.7 5.5 3.9	6.9 6.3 5.9	MAX MED. MIN
SOLIDOS SEDIMENTABLES MAX. 1 ml/l.	50.0 5.8 0.0	5.0 1.0 0.0	2.5 1.1 0.5	1.0 0.5 0.3	2.5 1.3 1.0	2.5 1.9 0.5	MAX MED MIN
TEMPERATURA MAX. 35°C	38.0 32.0 27.0	41.0 36.2 31.0	45.0 38.3 30.0	44.0 41.1 37.0	39.0 31.3 27.0	38.0 33.8 19.0	MAX MED MIN
MATERIAL ($mg/_{1t}$) FLOTANTE Ninguna que sea retenida por malla de 3 mm. declaro libre cuadrado.	0.000 0.0 0.0	4.3 0.4 0.0	27.44 3.4 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	MAX. MED MIN
GRASAS Y ACEITES MAX. 70 mg/l.	29.1	13.8	61.2	12.1	15.9	2.8	MED
GASTO l/seg.	23.4 19.5 15.8	26.2 22.5 19.6	30.5 22.4 12.2	23.4 17.8 11.1	18.3 10.3 2.8	23.4 18.3 1.8	MAX MED MIN

La determinación de grasas y aceites se hizo con una muestra compuesta por varias muestras simples.

C)

FECHA / PARAMETRO	OCTUBRE				
	3	10	16	22	
pH	6.5	6.2	6.3	6.3	MAX.
	6.0	4.9	5.6	5.0	MED.
MAX.10 MIN. 4.5	5.6	3.9	4.9	2.6	MIN.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	50.0	21.0	10.5	23.0	MAX.
	11.9	5.3	2.3	9.2	MED.
MAX. 1 ml/l.	0.3	1.0	0.0	0.3	MIN.
	45.0	48.0	43.0	41.0	MAX.
TEMPERATURA	37.8	38.3	36.9	37.9	MED.
MAX. 35°C	30.6	29.0	26.0	31.0	MIN.
MATERIAL (mg/l.) FLOTANTE	0.0	0.0	5993.9	0.0	MAX.
Ninguna que sea retenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadrado.	0.0	0.0	62.3	0.0	MED.
	0.0	0.0	0.0	0.0	MIN.
GRASAS Y ACEITES	13.1	21.0	23.4	17.2	MED.
MAX. 70 mg/l.					
GASTO	26.2	24.8	18.3	23.4	MAX.
	17.8	15.9	13.9	19.0	MED
l/seg.	10.0	10.0	8.3	15.8	MIN.

D)

FECHA / PARAMETRO	DICIEMBRE			ENERO		
	3	13	20	14	21	
pH	8.2	8.2	7.5	6.6	7.9	MAX.
	6.5	6.1	4.9	5.5	6.7	MED.
MAX. 10 MIN. 4.5	5.6	4.5	2.5	4.0	5.3	MIN.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	20.2	5.2	6.2	5.0	3.5	MAX.
	4.2	1.2	1.9	1.7	1.8	MED.
MAX. 1 ml/l.	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	MIN.
TEMPERATURA	46.0	46.0	25.0	44.5	41.0	MAX.
MAX. 35°C	36.6	36.3	22.5	39.4	34.5	MED.
	26.0	27.0	18.0	32.0	28.0	MIN.
MATERIAL (mg/l.) FLOTANTE	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	MAX.
Ninguna que sea	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	MED.
retenida por malla de 3 m. declaro libre cuadrado.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	MIN.
GRASAS Y ACEITES	36.2	48.3	51.8	36.2	60.8	MED.
MAX. 70 mg/l.						
GASTO	27.4	18.3	14.7	27.0	18.3	MAX.
l/seg.	17.1	13.1	10.3	18.5	15.2	MED.
	11.6	7.5	8.3	16.4	12.2	MIN.

Analizando los datos enlistados en la tabla II se encontró que para poder estar dentro de las normas fijadas por el Reglamento Federal para el Control de la Contaminación de Aguas es necesario disminuir las cantidades de sólidos sedimentables y material flotante presente, disminuir la temperatura y elevar el pH de las aguas problema.

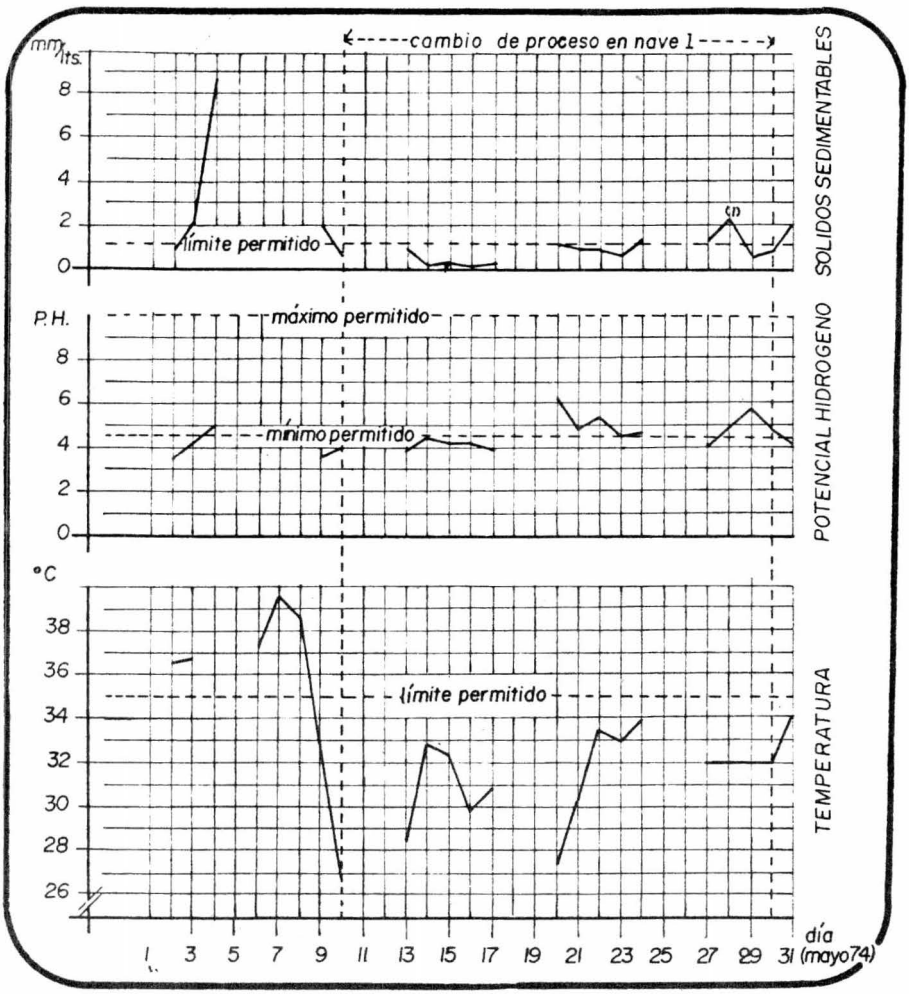
Para evitar la contaminación es necesario determinar la fuente contaminante y poder así definir el proceso a seguir.- Para esto se cambió el proceso realizado por la nave 1 de la planta durante dos semanas de mayo de 1974 (lugar donde se realiza la hidrólisis del barbasco para la extracción de la diosgenina) , no utilizándose barbasco.

Con los datos obtenidos en este período se elaboraron las gráficas mostradas como figuras 2, 3 y 4. En la figura 2 se ve como la nave 1 es la principal contribuyente a la contaminación por sólidos sedimentables (disminuyen notablemente al cambiar el proceso). No obstante, no es la única fuente pues existen momentos en los que a pesar del cambio, se sobrepasa el límite permitido, siendo por lo tanto necesario tratar todas las aguas de la planta y no solo las provenientes de la nave 1.

En la figura 4 se ve como sucede algo similar con la temperatura. Se sigue estando muy cerca del límite y por lo tanto es conveniente tratar todas las aguas en lo que a temperatura corresponde. Además la existencia de gran cantidad de sólidos en el agua, provenientes de la nave 1, dificultaría el tratamiento por temperatura antes de la sedimentación a la que serán sometidas todas las aguas.

Por lo que toca a pH del agua, en la Tabla II se ve como frecuentemente se rebasan los límites, siendo necesario una neutralización. Al cambiar el proceso (fig 3) no varia el pH, no siendo necesario tratar las aguas de la nave 1 pues no son las causantes de la acidez del agua, pero como es conveniente neutralizar antes de la sedimentación para poder separar los sólidos añadidos durante la neutralización, el proceso de neutralización se aplicará a todas las aguas residuales de la planta.

El problema que representa el material flotante es sencillo y desaparecerá parcialmente en la sedimentación, bastando un ligero cribado al final del tratamiento para retirar aquella-



muestras tomadas del colector general, lecturas promedio
no se tomaron muestras los días donde se corta la gráfica
a partir del 31 de mayo se reanuda el proceso con barbasco
(1): se lavó el tanque de H_2SO_4 y se neutralizó con $CaCO_3$

FIG. No. 2 —— SOLIDOS SEDIMENTABLES

FIG. No. 3 —— POTENCIAL HIDROGENO

FIG. No. 4 —— TEMPERATURA

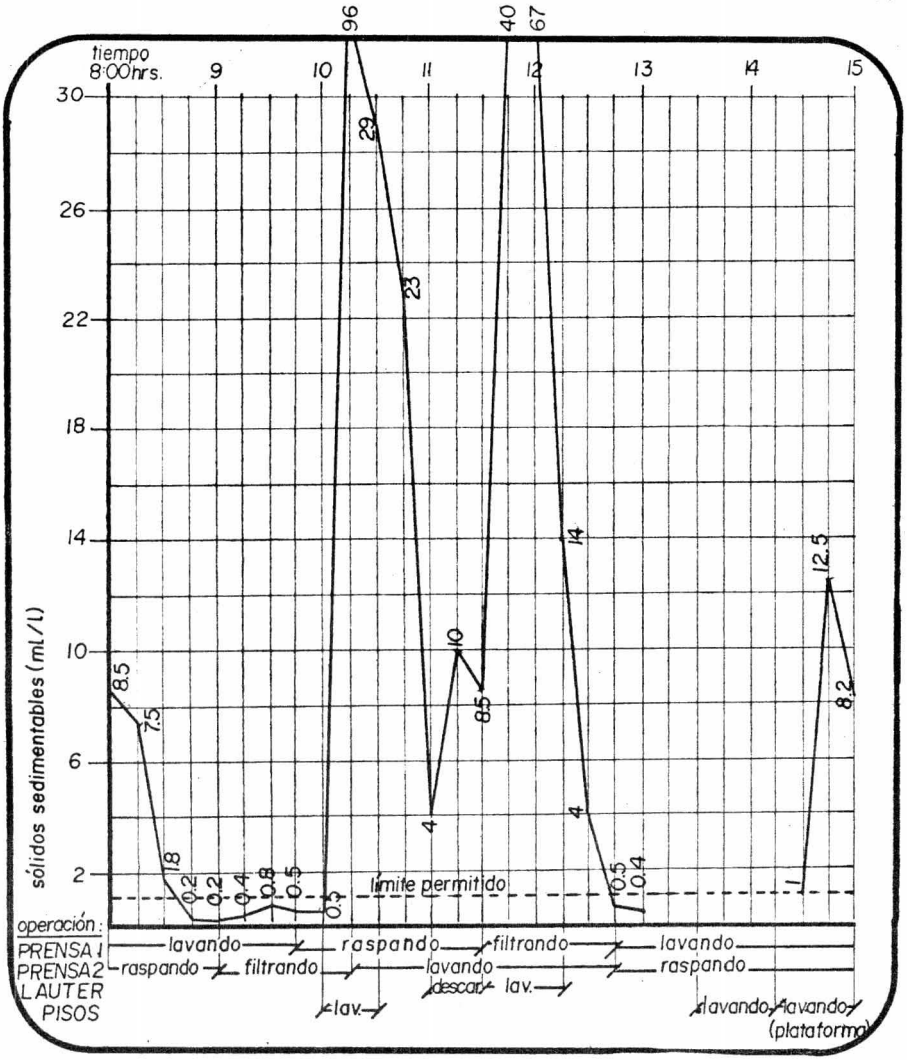


FIG. No. 5 —— ESTUDIO DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN NAVE 1
(MAYO 7, 1974)

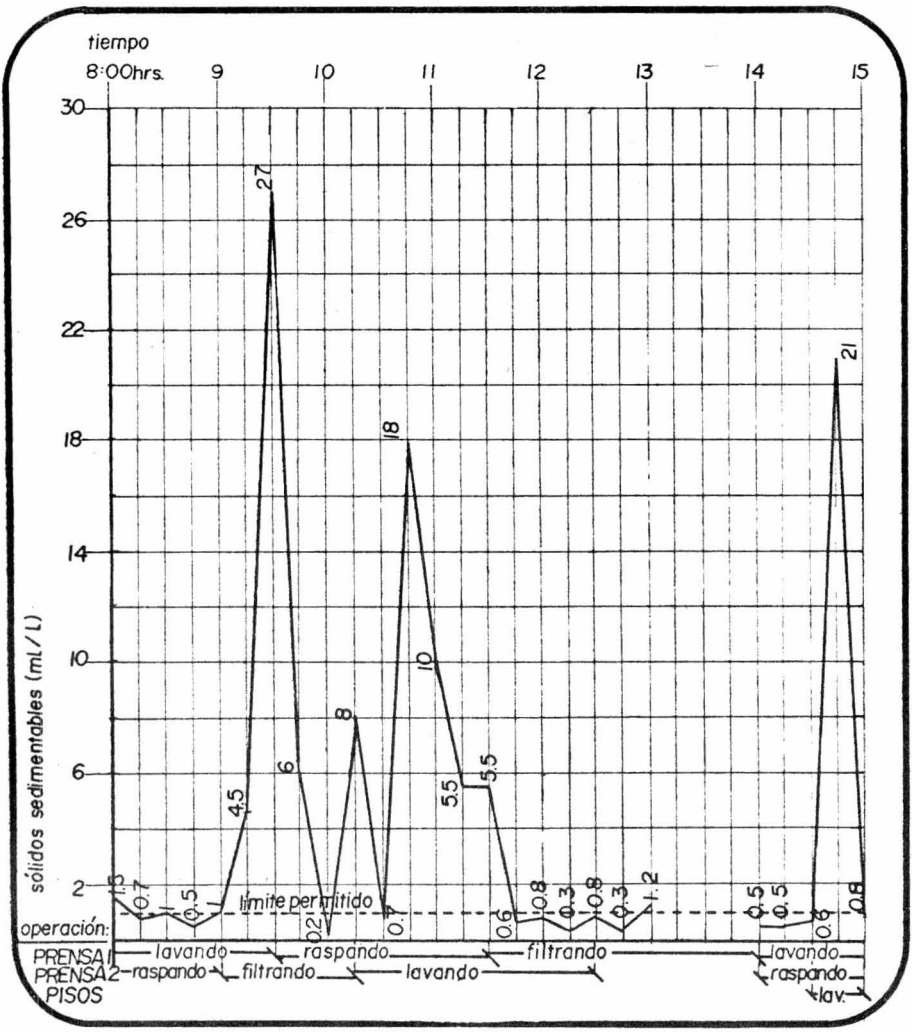


FIG. No. 6 ——— ESTUDIO DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN NAVE 1
(JUNIO 4, 1974)

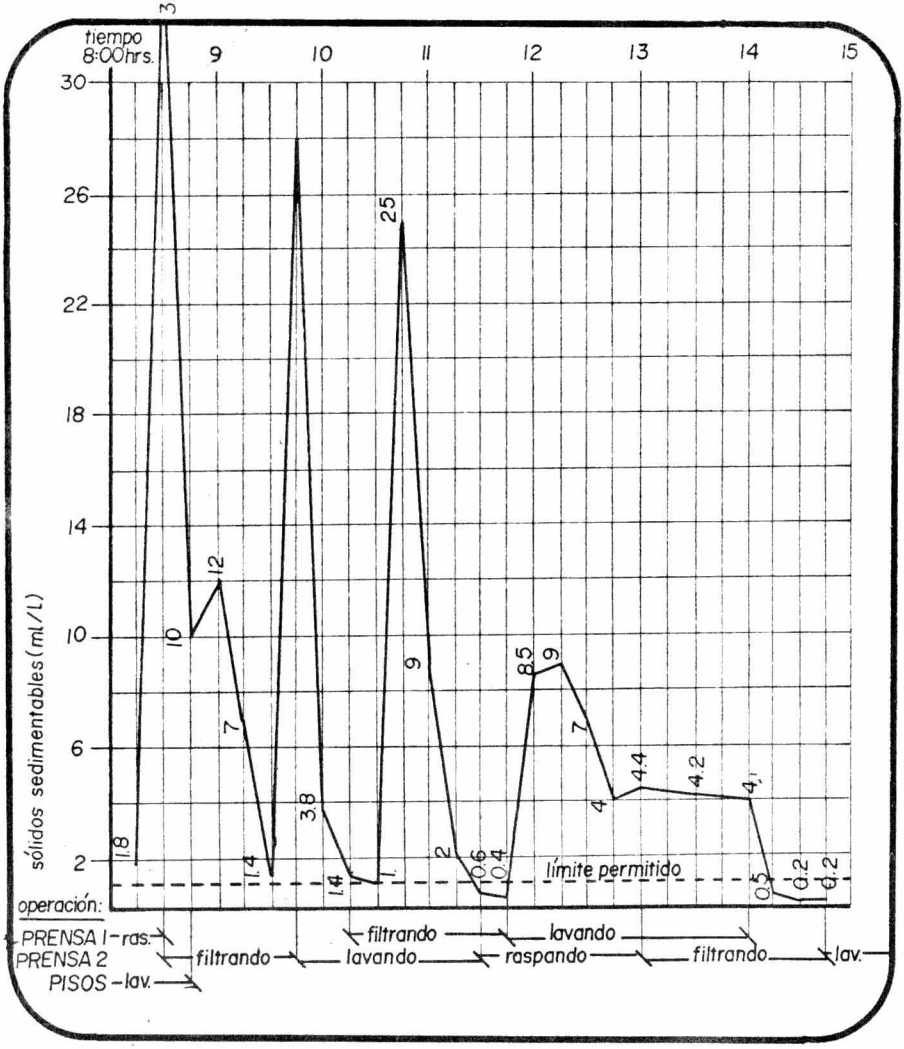


FIG. No. 7 ——— ESTUDIO DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN NAVE 1
(JUNIO 10, 1974)

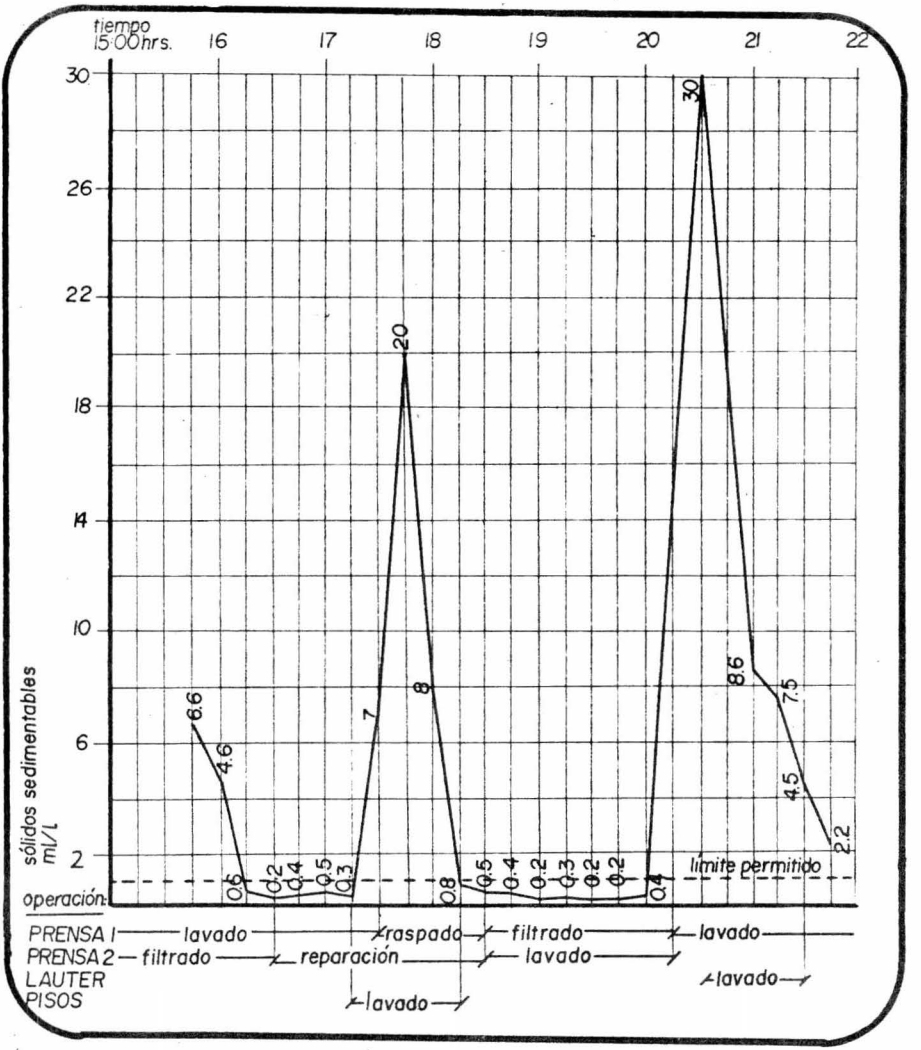


FIG. No. 8 —— ESTUDIO DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN NAVE 1
(JUNIO 20, 1974)

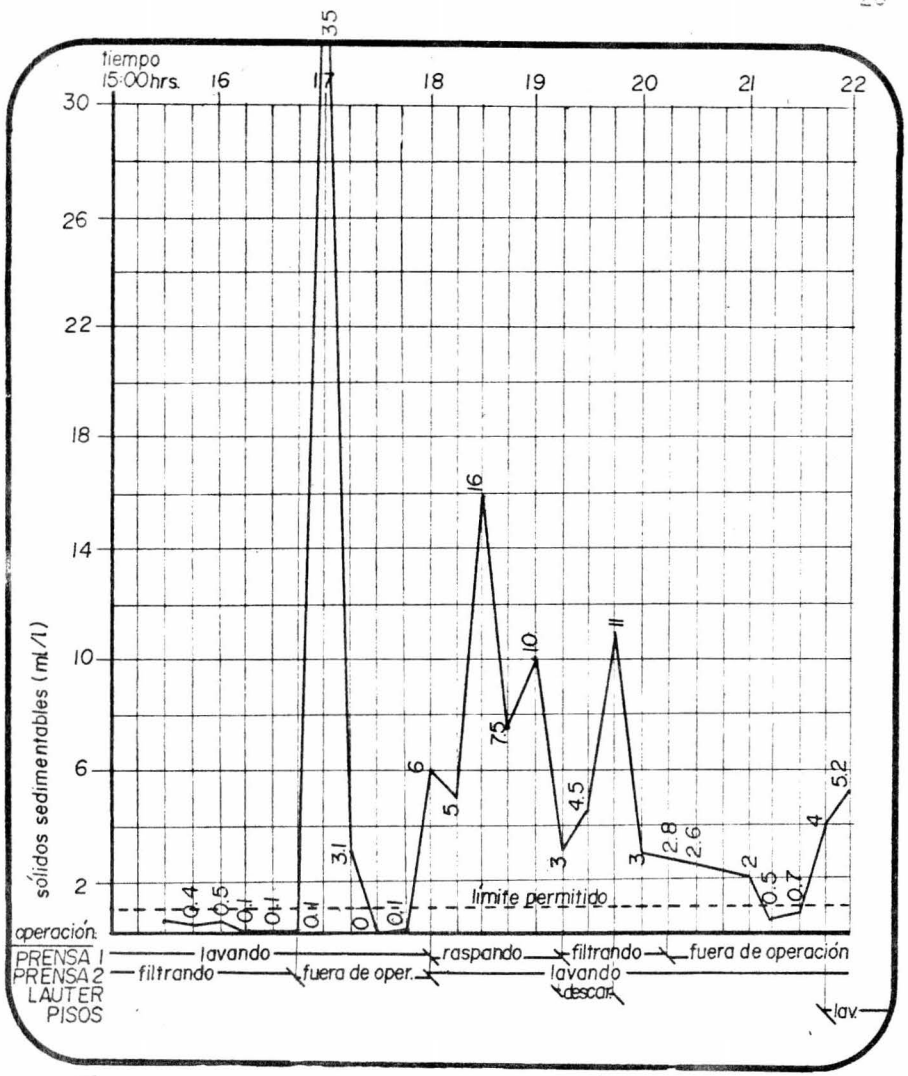


FIG. No. 9 ——— ESTUDIO DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN NAVE 1 . (JUNIO 27, 1974)

materia que pudiera sobrevivir al tratamiento.

Por último, el quinto parámetro, Grasas y Aceites, no - representa ningún problema pues en todos los análisis hechos --- nunca se rebasó el límite fijado por el Gobierno Federal.

En las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 se muestra un estudio hecho para determinar las operaciones de nave 1 que provocan el -- problema de los sólidos sedimentables con el objeto de ver si -- era posible elaborar una estrategia para eliminar los sólidos de una forma menos costosa a la sedimentación. Lo único que se lo-- gró fue poner rejillas a las coladeras del piso de la planta; -- pero no se obtuvieron buenos resultados pues se tapaban las ma - llas y los operarios quitaban las coladeras. Las operaciones que causaban principalmente la contaminación eran, como puede verse- en las gráficas presentadas, el lavado de los pisos, del Lauter- (donde se realiza la hidrólisis del barbasco con una solución de HCl y la posterior neutralización con una solución de cal), el - final del lavado de los filtros prensa y el raspado de los mis - mos.

SOLIDOS SEDIMENTABLES

Los sólidos sedimentables presentes en las aguas proble ma estan constituídos por el barbusco agotado, el cual debe ser retirado para poder tirar el agua a la red municipal de drena--- jes.

Para conseguirlo, existen una serie de métodos que a -- continuación mencionamos:

1.- TANQUES SEPTICOS.- Es una de las formas mas antiguas de separación del material orgánico de las aguas. Al diseñarlos se busca que la velocidad de las aguas sea muy baja, permaneciendo los sólidos de desecho en condiciones anaerobias dentro del tanque - por un periodo de 12 a 24 hrs. (17,18 y 19). El material orgánico se descompone en el fondo del tanque, generándose gases que - suben a la superficie arrastrando sólidos, los cuales forman una nata que vuelve a sumergir al escapar los gases a la atmósfera.- Esta flotación y sedimentación contínua impide la correcta clarificación del efluente. Tanto lo anterior como el hecho de necesitarse largos períodos de retención dentro de los tanques, hace impráctica la utilización de este método para la separación - del material orgánico.

2.- TANQUES IMHOFF. Se les conoce también con el nombre de tanques de doble acción. Funcionan como tanques sedimentadores y digestores al mismo tiempo, con la ventaja de no presentar los inconvenientes de los tanques sépticos, pues impiden a los sólidos que ya se han separado, volver a juntarse con el agua. Además, - retienen los sólidos para su digestión.

Su forma puede ser variada, pero siempre se componen - de tres cámaras, el compartimiento de sedimentación (parte superior), la cámara de digestión de lodos (parte inferior) y el -- respiradero y cámara de natas. No tienen problemas mecánicos y- son relativamente económicos. Necesitan de cuidados y atencio--- nes constantes a pesar de ser faciles de operar y pueden eliminar el 40-60 % de sólidos suspendidos, reduciendo el DBO de un- 25 a 35 % (17, 18 y 19).

Los tiempos de retención de la cámara de sedimentación varian de 2 a 3 hrs. si el tratamiento es único y debe diseñarse la camara de digestión para poder almacenar lodos durante 2-

meses. El respiradero y la cámara de natas o espumas tendrá -- aproximadamente la mitad del volumen de la cámara de digestión- y un 20% de la superficie del tanque se empleará para ventila - ción del compartimiento de digestión. El lodo se extrae por gra vedad, bajo una carga hidrostática de 1.2 a 1.8 m (17)

Los tanques Imhoff producen un líquido residual mas -- claro al de las fosas sépticas y un lodo que se seca mejor al - obtenido de los tanques de sedimentación simple. Sin embargo,en la actualidad solo se utilizan para tratar aguas negras de pobla ciones pequeñas con menos de mil habitantes, ya que se logra -- una mejor digestión de los lodos en tanques digestores indepen- dientes, calentados, los cuáles son mas fáciles de operar, pro- ducen una mayor cantidad de gas utilizable y no tienen proble - mas con las espumas. En ocasiones generan malos olores, aún - - cuando su funcionamiento sea correcto.

3.- REJILLAS Y CRIBAS.- El agua residual se hace pasar por una malla donde se retienen los sólidos, pasando el agua -- clarificada. Este método tampoco es conveniente, pues por la -- forma y consistencia de los sólidos a separar (barbasco agotado), los orificios de las mallas serían tapados continuamente, sien- do dificil su limpieza.

Habría que pensar en un sistema de diseño especial don- de no pudieran los sólidos tapar los orificios de las mallas, - como por ejemplo una rejilla vibratoria, sobre la cual haya bo- litas de algún material inerte que no permitan la llegada de -- los sólidos a la malla. Sería necesario experimentar con varias mallas de distintos calibres durante varias partidas para de - terminar la viabilidad del proceso.

4.- FLOTACION. Algunos sólidos permanecen suspendidos por su ba ja densidad o su naturaleza fibrosa, siendo más fáciles de sepa rar por flotación. Este método es muy usado para la separación- de grasas y aceites. Su operación consiste en inyectar aire en- la parte inferior del tanque que contiene el agua a tratar, des prendiendose burbujas las cuáles se adhieren a los sólidos,arras trándolos a la superficie, de donde son removidos por desnatado res. El proceso, de forma similar a la sedimentación, sigue las leyes de Stokes, alcanzando las gotas una velocidad de ascención

terminal de 25.4 cm/seg. (20)

Generalmente se emplean dos métodos para la flotación: a) La inyección de aire a presiones de 25-40 psi. (21,22) formandose burbujas de menos de 5 mm. de diámetro (23).
b) La aplicación de un vacio de varias pulgadas de mercurio por un período de 10 a 15 min. (24).

La Rhodes Technology Corporation ha hecho estudios, a nivel planta piloto, obteniendo resultados que indican como el proceso es capaz de eliminar el 84% de los sólidos suspendidos y el 42% del BOD (25).

La flotación, como método de separación de sólidos no ha sido completamente estudiada, desconociéndose muchos de los parámetros que la gobiernan y siendo por lo tanto, insegura su operación. Los costos de operación son elevados, pero el volúmen de la tina utilizada es menor a la empleada para la sedimentación, al tenerse menores tiempos de retención y una mejor eficiencia.

5.SEDIMENTACION. Es la técnica más antigua conocida para tratar el agua. Hasta hace poco, la sedimentación se había hecho exclusivamente en tanques especialmente diseñados para dicho propósito, sin embargo, en los últimos años ha empezado a desarrollarse una nueva técnica de sedimentación a altas velocidades, con tiempos de retención no mayores a 15min. (26), disminuyendo considerablemente los costos iniciales y de operación de las plantas normales de tratamiento, en donde se utilizan tanques con tiempo de retención generalmente mayores a dos horas.

Como presentan problemas de importación, a pesar de estar ya operando algunas plantas con dichos sedimentadores, no serán aplicados a la resolución del problema tratado en esta tesis. Por ser lo más avanzado que existe presentaremos al final del capítulo el cálculo teórico de un sedimentador de alta velocidad, (siguiéndo las ecuaciones propuestas por K.M. Yao).

El sedimentador tradicional es el escogido para la remoción de los sólidos contenidos, objeto del presente estudio, por su comprobada capacidad, razonable eficiencia y bajos costos de operación.

TEORIA DE LA DE SEDIMENTACION

La sedimentación es provocada por la fuerza de grave - dad. Para lograr la sedimentación de una partícula es necesario que ésta fuerza sea superior a la fuerza de fricción de la par - tícula con el fluído y a la fuerza boyante originada, de acuerdo al principio de Arquimides, por el volumen del líquido desalojado.

Para partículas discretas (forma y masa invariables),-- la partícula se acelera inicialmente gracias a la fuerza de gravedad. A medida que su velocidad aumenta, las fuerzas de fric -- ción (directamente proporcionales a la velocidad de la partícu - la) se incrementam, llegando un momento en el cual la suma de — fuerza es cero, manteníendose constante la velocidad. Basándose- en este principio, podríanse obtener una serie de ecuaciones - - aplicables al diseño de un tanque sedimentador, no obstante, - - existen una serie de factores determinantes para el buen funcionamiento del sistema, que imposibilitan el cálculo teórico de -- sus dimensiones. Algunos son:

a).- La temperatura. Temperaturas elevadas favorcen el proceso - debido a la disminución de la viscosidad del fluido.

b) La profundidad, la forma, las características y el funciona - miento de la cámara de sedimentación.

c) la velocidad y la longitud de escurrimiento a través de la -- cámara.

d) La acción del viento en la superficie de la cámara.

e) Las corrientes originadas por gradientes de temperatura den - tro de la cámara.

f) Las fuerzas eléctricas existentes entre las partículas.

Estos factores, hacen necesario el diseño práctico de - los tanques, basándose en datos adquiridos por la experiencia -- nacida de la observación de tanques en operación.

El diseño se basa en datos de velocidad de sedimenta -- ción, que en el caso de partículas discretas (no floculables), - puede determinarse teóricamente mediante ecuaciones definidas.

A continuación aparece un sumario de las leyes y los -- períodos a los cuales se aplican, para la determinación de la velocidad de sedimentación de partículas discretas.

TABLA IV Leyes y períodos de aplicación para determinar la velocidad de sedimentación (27).

LEY	ECUACION	COEFICIENTE DE ARRASTRE	N_{Re}	DIAMETRO DE PARTICULA
Stokes	$V=\frac{1}{18} gd^2(\rho_p-\rho/\mu)$	$24/N_{Re}$	10^{-4}-1.0	Hasta 0.01 cm
Allen	$V=0.22\left[\left(\frac{\rho_p-\rho}{\rho}\right)g\right]^{2/3}\left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}}\right]$	$12.65/N_{Re}^{0.5}$	10-1000	0.01-0.1 cm
Newton	$V=1.82\sqrt{gd\ (\rho_p-\rho/\rho)}$	0.44	1000-250000	Mayor a 0.1cm.

en donde : V = Velocidad terminal
g = Aceleración de la gravedad.
Cd= Coeficiente de arrastre. = 0.44
ρp= Densidad de la partícula
P = Densidad del fluído
d = Diámetro de la partícula

Valores ya calculados de velocidades de sedimentación - de partículas discretas en agua pueden encontrarse en la literatura.(28)

Existen otro tipo de partículas que se agruban con otras a medida que sedimentan, aumentando su tamaño y su peso, variando su forma y aumentando su velocidad de sedimentación. Este proceso puede incrementarse utilizando agentes floculantes, los cuales transforman partículas suspendidas, no sedimentables, en corpúsculos que si lo son. Esta operación se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas, como por ejemplo para eliminar la turbiedad de aguas de rio.

No existen ecuaciones para determinar la velocidad de - sedimentación de este tipo de partículas.

DISEÑO DE SEDIMENTADORES.

El diseño de los sedimentadores para partículas floculentas es algo mas complicado y solo puede hacerse basándose en - pruebas de laboratorio. Las características del tanque, posibles de reproducir en un laboratorio hasta cierto punto, son:

a) La floculación debida a diferentes velocidades de sedimentación de partículas floculentas.

b) El retraso de la sedimentación por la turbulencia.

c) La floculación originada por los gradientes de velocidad, en caso de haber agitación ligera previa.
d) La limpieza del fondo del tanque.

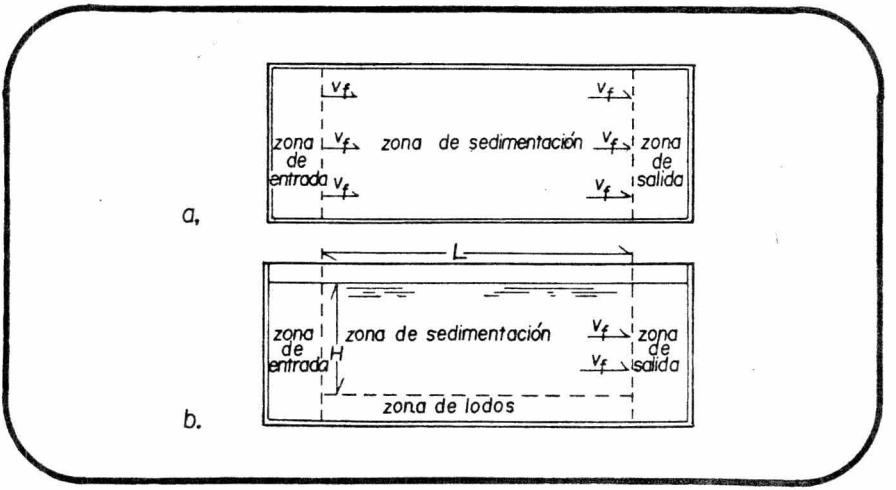
La primera característica se logra analizando una suspensión de partículas floculentas en un tanque, manteniendo en reposo el fluído; las otras tres se logran agitando el tanque.-

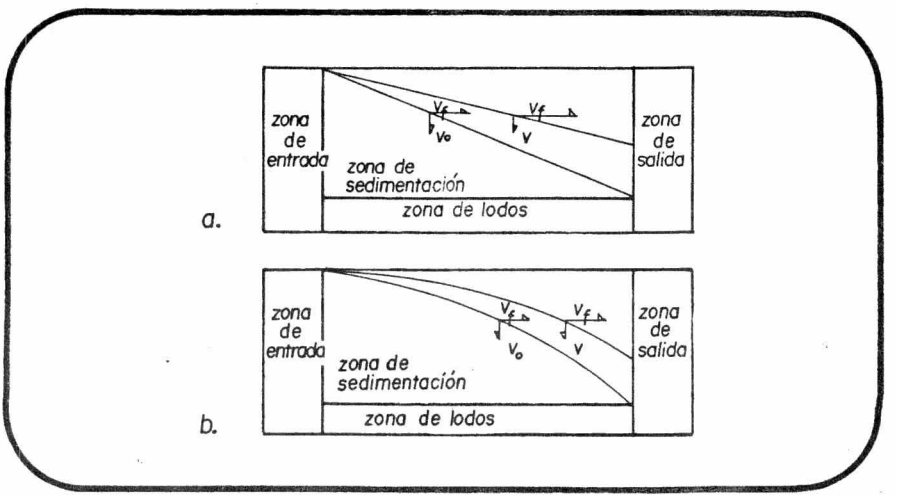
Para el correcto funcionamiento de las pruebas, se deben guardar ciertas precauciones:
a) La muestra debe ser representativa y de preferencia debe recolectarse en el mismo recipiente en el que se harán las pruebas, evitando posibles cambios en las características del agua. El tiempo transcurrido entre la recolección de la muestra y el principio de la prueba debe ser mínimo, no incrementando el tiempo de floculación. El manejo de la muestra debe ser cuidadoso para evitar el rompimiento de los flóculos.
b) La muestra debe mantenerse a temperatura constante a todo lo largo del recipiente para evitar las corrientes de convección generadas por los gradientes de temperatura.
c) La columna en donde se realizan las pruebas debe tener aproximadamente la misma profundidad del sedimentador planeado.

Al tanque hipotético en donde ocurre la sedimentación de forma similar a la columna en reposo se le llama "Recipiente Ideal". Estos recipientes difieren de los reales en las corrientes existentes, en éstos últimos, generadas por diferencias de temperatura y densidad, por la remoción de lodos en el fondo del tanque, por las entradas y las salidas del tanque y por los cortos circuitos formados. Muchos de los factores mencionados retrasarán la sedimentación, pero favorecerán la floculación dentro del tanque.

La eliminación de sólidos en un tanque ideal, será mayor o menor que en un tanque real, dependiente del grado de influencia de los diferentes factores ya mencionados.

Este tipo de pruebas en recipientes ideales no son muy empleadas en el diseño de plantas potabilizadoras, donde se realizan pruebas de jarras para obtener información aplicable a criterios establecidos, pero cuando se trata de materiales residuales de plantas industriales, son mas convenientes para el di





v_f = velocidad de flujo
v = velocidad con que se depositan las partículas
v_o = velocidad de sedimentación

FIG. No. 10 —— TANQUE DE SEDIMENTACION IDEAL
- a. PLANTA
- b. SECCION LONGITUDINAL

FIG. No. 11 —— TRAYECTORIA DE SEDIMENT. DE LAS PARTICULAS EN TANQUE IDEAL
- a. PARTICULAS DISCRETAS
- b. PARTICULAS FLOCULABLES

seño de los tanques sedimentadores.

CARACTERISTICAS DEL TANQUE IDEAL

Son las siguientes:

a) La dirección del flujo es horizontal y es la misma en todas las partes de la zona de sedimentación.

b) La concentración de sólidos suspendidos de cada tamaño, es la misma en todos los puntos de la sección transversal vertical a la entrada de la zona de sedimentación.

c) Una partícula es removida al llegar a la salida de la zona de sedimentación.

d) El recipiente ideal está compuesta por cuatro zonas, la de entrada, en la cual se difunde la suspensión a todo lo largo del tanque, la de sedimentación, en donde realmente tiene lugar la separación de los sólidos, la de salida, en donde se recolecta el líquido clarificado y la de acumulacion de los lodos.

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA CARGA SUPERFICIAL Y EL TIEMPO DE RETENCION.

Las pruebas realizadas para el diseño del tanque sedimentador, para la clarificación de las aguas motivo de la presente tesis, se describen a continuación.(30, 31, 32, 33, 34)

1) Se llena la columna mostrada en la figura 12 con una muestra del agua a tratar. Se burbujea suavemente aire dentro de la columna, mezclándose los sólidos perfectamente y alcanzando una concentración inicial uniforme. Debe tenerse el cuidado de mantener la temperatura del agua y de la atmosfera en equilibrio para evitar corrientes de convección.

2) Por las boquillas se toman muestras a los tiempos 0, 5, 10, 20, 40, 60, 90 y 120 min. Hay que drenar las boquillas antes de tomar las muestras.

3) Se analizan las muestras.

4) Se hacen gráficas para relacionar la profundidad de la columna (cm) con el tiempo de sedimentación (min) para los diferentes porcentajes de sólidos suspendidos, el porcentaje de sólidos suspendidos con la carga superficial (l/m^2.día) y el porcentaje de sólidos suspendidos con el tiempo de sedimentación (retención).

Con estas gráficas puede determinarse las dimensiones del tanque.

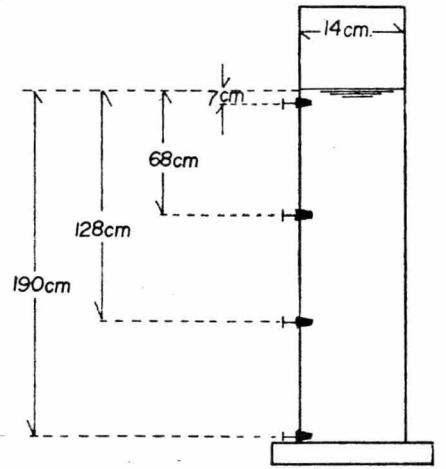
Es conveniente realizar las pruebas con diferentes concentraciones de sólidos para cubrir la escala completa del espectro de valores de sólidos suspendidos.

La carga superficial obtenida debe dividirse por una constante de 1.5 y el tiempo de retención debe multiplicarse por 1.75 (Valores recomendados para una eficiencia de remoción media) como factor de seguridad en la obtención de las dimensiones del tanque, debido a las deficiencias en su funcionamiento originadas por la existencia de turbulencias, corrientes de corto circuito y perturbaciones a la entrada y a la salida.

La carga superficial o velocidad de sedimentación, es la profundidad efectiva dividida por el tiempo requerido para un porcentaje de eliminación alcanzado a dicha profundidad. Las partículas con velocidad de sedimentación Vo se eliminaron completamente en el recipiente ideal, en tanto que las partículas con una velocidad V se eliminarán de acuerdo a la realación V/Vo , por lo tanto, para una profundidad dada y para un tiempo de retención T , una cierta cantidad de sólidos será eliminada completamente al tener una velocidad igual o mayor a Vo ,mientras que las partículas con velocidades menores, serán eliminadas de acuerdo a la relación V/Vo,o a la relación correspondiente de profundidades promedio sedimentadas d/do . El porcentaje total de sólidos eliminados esta dado por la expresión:

$$\% \text{ sólidos eliminados} = X + \frac{d_1}{d_0} \quad (10) + \frac{d_2}{d_0} (10) + \frac{d_3}{d_0} (10)$$

En las pruebas realizadas no se empleó ningún floculante para incrementar la velocidad de sedimentación pues, como se verá con los resultados mostrados, no fué necesario. Las dimensiones del tanque propuesto, así como los parámetros considerados para su diseño, se encuentran dentro de los valores recomendados por la práctica. Los costos de operación disminuyen notablemente si no se utilizan los floculantes y además no existe ningún problema para la disposición final de los lodos, al no tener éstos ninguna substancia química ajena a su naturaleza. Por otro lado, se deja abierta la posibilidad de añadir un floculante en el futuro, aumentando posiblemente la velocidad de sedimentación y —



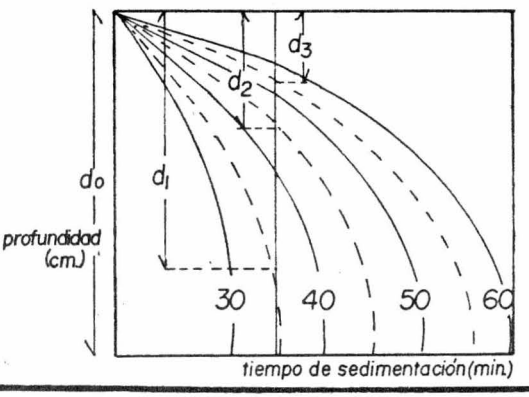


FIG. 12.—— COLUMNA PARA LA DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE PARTICULAS FLOCULABLES EN EL LABORATORIO.

FIG. 13.—— TRAYECTORIAS DE SEDIMENTACION DE PARTICULAS FLOCULENTAS MEDIDAS EN LA COLUMNA DE PRUEBA.

por lo tanto, la capacidad de la planta, sin aumentar el tamaño del tanque.

El sedimentador se instalará antes del sistema de enfriamiento de agua, necesario para el tratamiento, al favorecer el proceso de sedimentación, las temepraturas elevadas; evitándose además problemas en la operación y el mantenimiento del sistema de enfriamiento seleccionado.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE UN TANQUE DE SEDIMENTACION

Existen una serie de circunstancias que afectan el funcionamiento del tanque y debido a las cuales los valores obtenidos experimentalmente en la columna de agua son sobrediseñados.

1.- Variaciones de flujo. El gasto de agua a tratar puede alterarse de acuerdo a la operación de la planta. El diseñador debe considerar el flujo máximo posible.

2.- Corrientes. Son flujos provocados en el seno del líquido por las diferentes densidades existentes, por las diferencias de temperatura, por las entradas y las salidas y por la extracción de los lodos. Estas corrientes se ven afectadas por las proporciones del tanque (son mas severas en tanques profundos). Las corrientes producidas por el viento pueden evitarse o al menos disminuirse colocando mamparas a lo largo del tanque.

3.- Concentración de los lodos. Debe tratar de alcanzarse la mayor concentración posible de sólidos en la corriente de lodos, permitiendo mayores tiempos de retención, pero teniendo cuidado de no provocar condiciones sépticas por descomposición de los lodos en el tanque.

4.- Natas.- La existencia de substancias que sobrenadan los tanques, como las grasas, aceites y todo tipo de material flotante, hacen necesaria la presencia de una mampara que impida la salida de éstas con el efluente. Por su gran putresibilidad deben ser removidas constantemente manual o mecánicamente.

5.- Carga superficial. Es el parámetro que fija el área de tanque necesaria para una buena remoción de sólidos. Los valores recomendados varían entre 600 y 1500 GPD/ft^2 según el tipo de tratamiento. (35 a 42).

El efecto de la carga superficial en la remoción de los sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de multitud de facto -

res entre los que destacan la naturaleza y la concentración de-- los sólidos.

6.- Tiempo de retención. El tiempo de retención fijará la pro -- fundidad del tanque. Los valores recomendados varían entre 1 y-- 4 h. , dependiendo de la naturaleza de los sólidos (35 a 42).-- El tiempo de retención debe permitir una velocidad de flujo en-- el tanque entre 0.5 y 3 fpm para minimizar cualquier tipo de perturbación que pudiera presentarse.

7.- Dispositivos de entrada y de salida. Para el buen funciona - miento de un tanque es necesario que estos dispositivos sean capaces de distribuir uniformemente el flujo a lo largo del tanque. Para su diseño puede recurrirse al Cameron Hydraulic Data, página 70, donde se presenta una tabla que proporciona directamente- las dimensiones y el flujo manejado por cada abertura triangular de la mampara de entrada. La longitud de las entradas y las sa - lidas puede fijarse de acuerdo a las velocidades recomendadas -- que oscilan entre los 8 y los 35 GPM/ft lineal según el tipo de- tratamiento (35 a 41). Las mamparas de entrada tienen por objeto disipar la energía y distribuir las corrientes.

8.- Manejo de los lodos. El fondo de los sedimentadores normal-- mente está ligeramente inclinado hacia las tolvas colectoras donde se concentran los lodos. Se recolectarán mecáncicamente por - medio de rastras. La remoción mecánica se considera económica -- cuando el volumen de materia sedimentable constituye el 0.1 % — del volumen de líquido que la contiene (39).

Se ha encontrado como la recirculación de los lodos es- benéfica en algunos casos como lo demuestran las unidades de contacto de sólidos (Reactores).

La velocidad de las rastras será muy baja, 1 fpm (37),- con el objeto de no perturbar el proceso de sedimentación y no - provocar una suspensión de los sólidos ya sedimentados.

La extracción de los lodos podrá ser hidrálica o me --- diante bombeo; para la remoción hidráulica se prefieren mayores- pendientes en el fondo.

9.- Eficiencia. Para los sedimentadores tradicionales, la efi -- cencia de remoción es del 90-95 % de sólidos sedimentables, 40 a 60 % de sólidos suspendidos y 25-35 % para la remoción de DBO. - (43).

Los datos obtenidos experimentalmente se muestran en la tabla V.

TABLA V (a) Valores obtenidos en el colector general en Septiembre - 9, 1974

TIEMPO (min)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)			SOLIDOS ELIMINADOS (mg/l)			SOLIDOS ELIMINADOS (%)		
	61cm	122cm	183cm	61cm	122 cm	183cm	61cm	122cm	183cm
0	161	179	165	-	-	-	-	-	-
5	188	175	178	-	4	-	-	2.2	-
10	155	167	156	6	12	9	3.7	6.7	5.5
20	142	144	158	19	35	7	11.8	19.5	4.2
40	131	124	145	30	55	20	18.6	30.7	12.1
60	113	112	96	48	67	69	29.8	37.4	41.2
90	123	106	123	38	73	42	23.6	40.8	25.5
120	66	92	108	95	87	57	59	48.6	34.5

(b) Valores obtenidos en el colector general en Agosto 6,1974

TIEMPO (min)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)				SOLIDOS ELIMINADOS (mg/l)				SOLIDOS ELIMINADOS (%)			
	7cm	68cm	128cm	190cm.	7cm	68cm	128cm	190cm	7cm	68cm	128cm	190cm
0	112	115	106	106	-	-	-	-	-	-	-	-
5	106	99	100	109	6	16	6	-	5.4	13.9	5.7	-
10	86	88	103	104	26	27	3	2	23.2	23.4	2.8	1.9
20	100	91	112	109	12	24	-	-	10.8	20.9	-	-
40	89	101	100	105	43	14	6	1	38.4	12.1	5.7	0.8
60	57	75	90	86	55	40	16	20	49.1	34.8	15.1	18.9
90	34	76	70	72	78	39	36	34	69.6	33.9	34	32.1
120	47	67	51	37	65	48	55	69	58	41.7	51.9	65.1

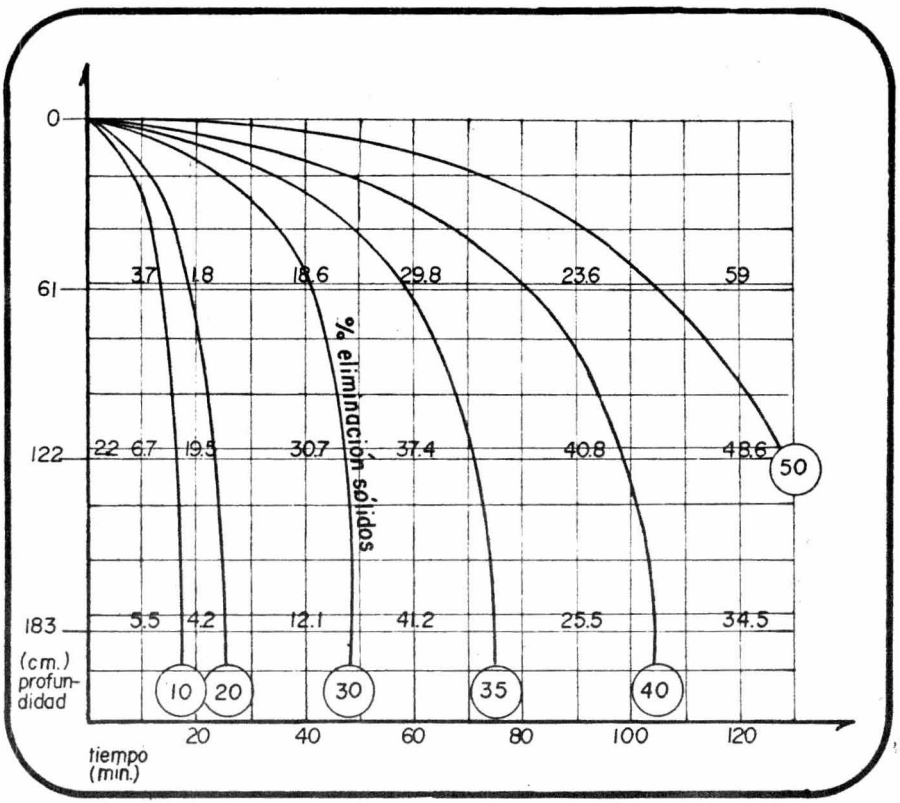


FIG. No. 14 ——— TRAYECTORIA DE SEDIMENTACION DE PARTICULAS FLOCULENTAS, MUESTRA TOMADA EN EL COLECTOR GENERAL EN SEPTIEMBRE 9 DE 1974

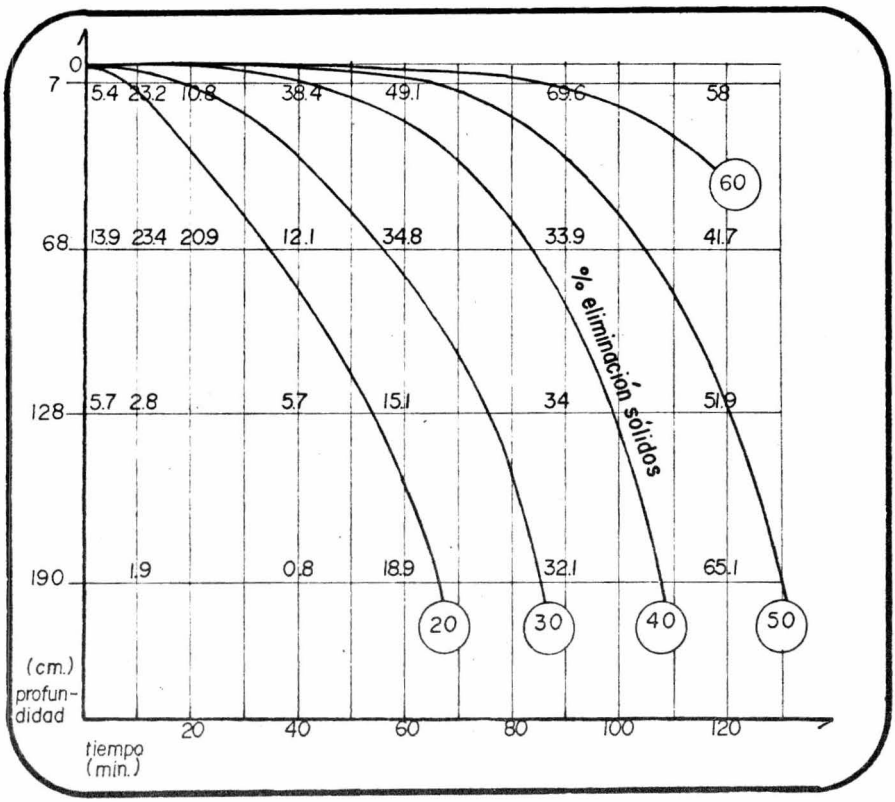


FIG. No. 15 ——— TRAYECTORIA , MUESTRA TOMADA EN EL COLECTOR GENERAL EN AGOSTO 6 DE 1974

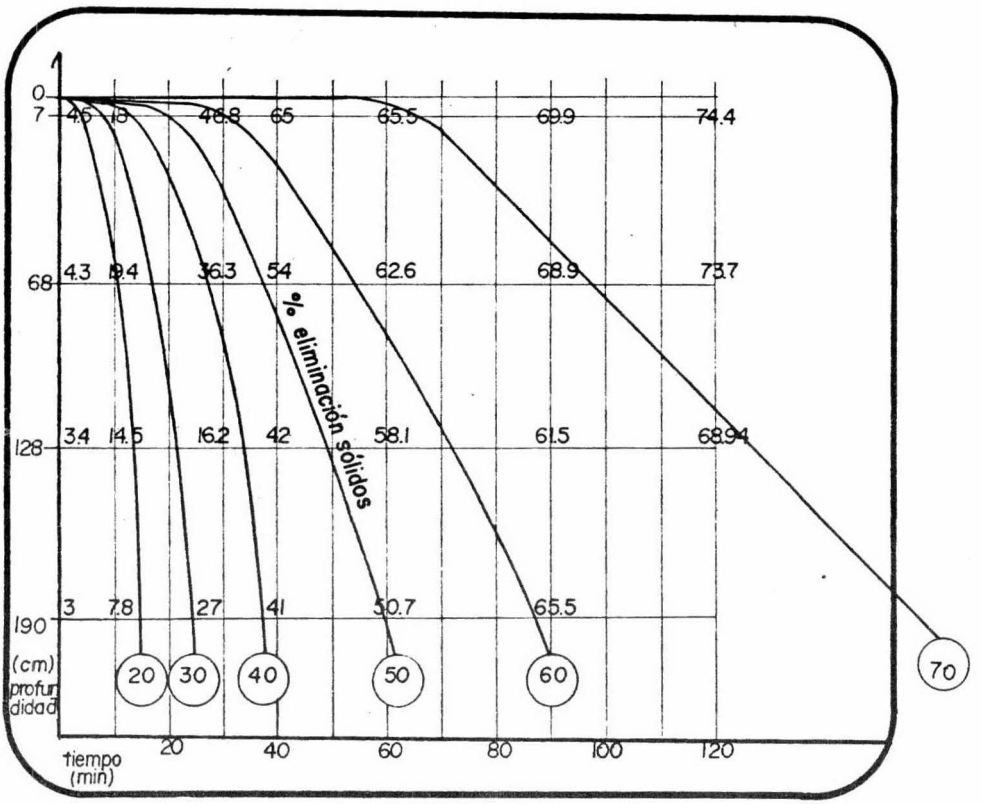


FIG. No.16 ——— TRAYECTORIA DE SEDIMENTACION DE PARTICULAS FLOCULENTAS, MUESTRA TOMADA EN EL COLECTOR GENERAL EN AGOSTO 8 DE 1974

(C) Valores obtenidos en Agosto 8, 1974.

TIEMPO (min)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)				SOLIDOS ELIMINADOS (mg/l)				SOLIDOS ELIMINADOS %			
	7cm	68cm	128cm	190cm	7cm	68cm	128cm	190cm	7cm	68cm	128cm	190cm
0	355	350	351	359	o	o	o	o	-	-	-	-
5	304	335	339	348	51	15	12	11	14.4	4.3	3.4	3.1
10	289	282	300	331	66	68	51	28	18.6	19.4	14.5	7.8
20	189	223	294	262	166	127	57	97	46.8	36.3	16.2	27.0
40	124	161	203	212	231	189	148	147	65.1	54	42.2	41.0
60	122	131	147	177	233	219	204	182	65.6	62.6	58.1	50.7
90	107	109	135	124	248	241	216	235	69.9	69.9	61.5	65.5
120	91	92	109	-	264	258	242	-	74.4	73.7	68.9	-

NOTAS a) Bajo el nombre de sólidos suspendidos se agrupan sólidos sedimentables y no sedimentales.

b) Al final de cada prueba se midieron los solidos sedimentables en el cono de Inhoff, obteniendose valores menores a 0.5 ml/l en todos los casos.

Para la obtención de la tabla VI se utilizaron la ecuaciones siguientes:

$$\text{Velocidad de sedimentación} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo de Retención}} \quad \text{....ec (3)}$$

Carga superficial = Velocidad de sedimentación

$$C.S. = (m^3/m^2\text{-hr}) \times 24(\text{hr/dia}) \times 1000(l/m^3) \quad \text{..ec (4)}$$

TABLA VI (a) Valores de velocidad de sedimentación y tiempo de retención calculadas para Septiembre 9, 1974.

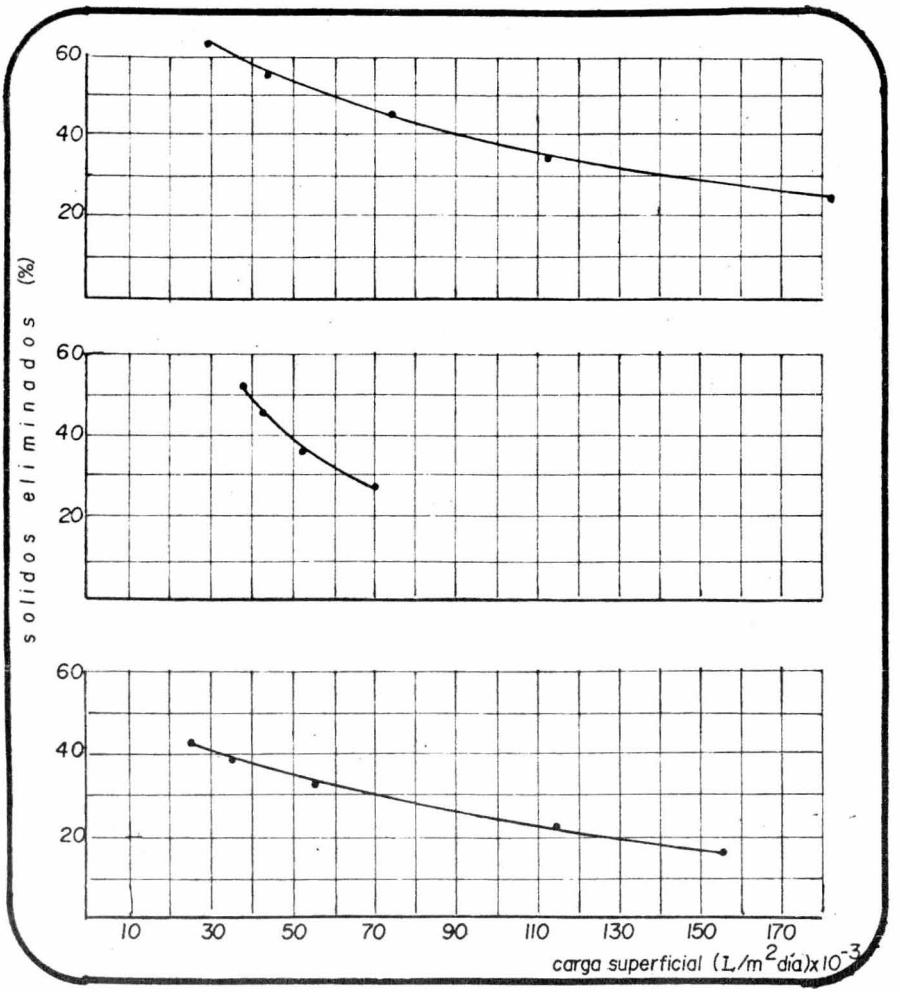
TIEMPO DE RETENCION (min)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACION ($^m/_{hr}$)	CARGA SUPERFICIAL (l/m^2,dia)	PORCENTAJE DE SOLIDOS SEDIMENTABLES ELIMINADOS. %
17	6.46	155×10^3	14.19
25	4.39	105.4×10^3	22.7
48	2.29	55×10^3	33.4
75	1.46	35×10^3	38.8
104	1.06	25.4×10^3	43.3

(b) Valores para Agosto 6, 1974.

TIEMPO DE RETENCION. (min)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACION ($^m/_{hr}$)	CARGA SUPERFICIAL (l/m^2.dia)	PORCENTAJE DE SOLIDOS SEDIMENTABLES ELIMINADOS %
66	2.9	69.6×10^3	26.5
86	2.2	52.8×10^3	35.5
108	1.8	43.2×10^3	45.4
120	1.6	38×10^3	52.9

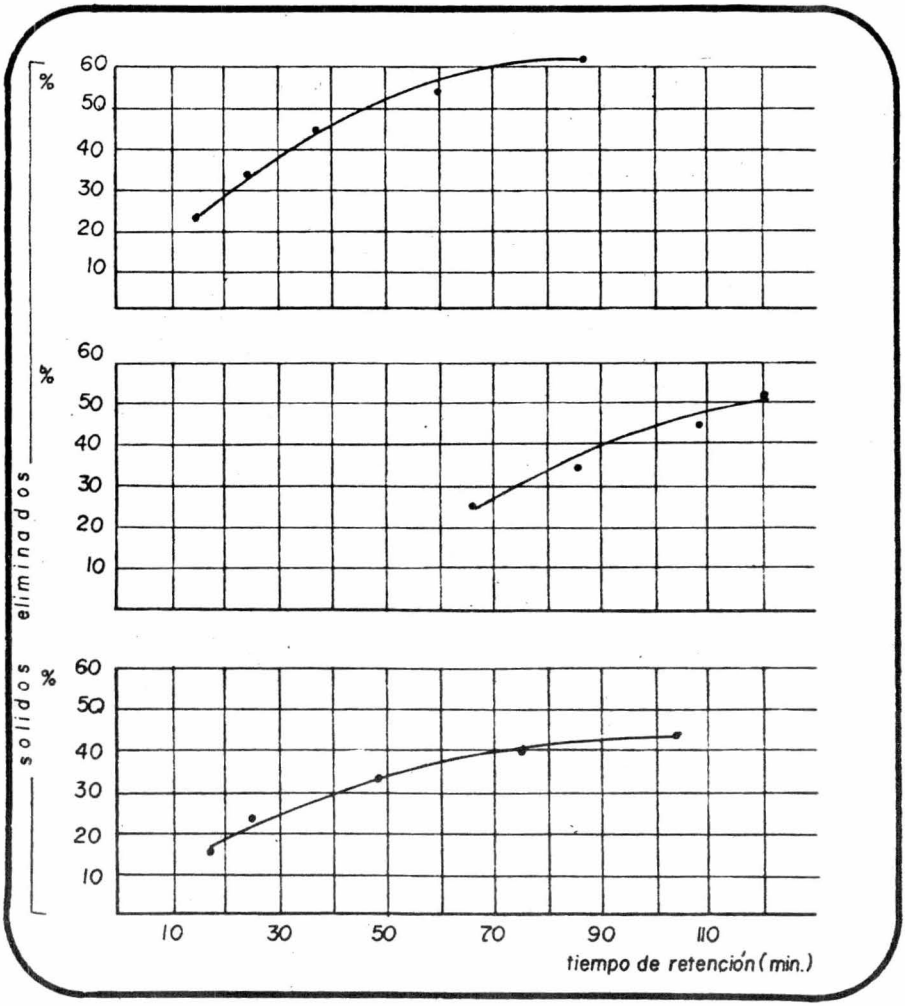
(c) Valores para Agosto 8, 1974

TIEMPO DE RETENCION. (min)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACION ($^m/_{hr}$)	CARGA SUPERCIAL (l/m^2,dia)	PORCENTAJE DE SOLIDOS SEDIMENTABLES ELIMINADOS. %
15	7.6	182.4×10^3	23.5
24	4.7	112.8×10^3	33.8
37	3.1	74.4×10^3	45.3
60	1.9	45.6×10^3	54.5
87	1.3	31.2×10^3	62.5



relación existente entre el % de sólidos eliminados y la carga superficial

FIG. No.17 ——— MUESTRA TOMADA EN AGOSTO 8 DE 1974
FIG. No.18 ——— MUESTRA TOMADA EN AGOSTO 6 DE 1974
FIG. No.19 ——— MUESTRA TOMADA EN SEPTIEMBRE 9 DE 1974



relacion existente entre el % de sólidos eliminados y el tiempo de retención.

FIG. No. 20 —— MUESTRA TOMADA EN AGOSTO 8 DE 1974
FIG. No. 21 —— MUESTRA TOMADA EN AGOSTO 6 DE 1974
FIG. No. 22 —— MUESTRA TOMADA EN SEPTIEMBRE 9 DE 1974

TABLA VII Valores encontrados de carga superficial y tiempo de retención para las aguas problema.

	Solidos Eliminados %	Carga Superficial (l/m^2 día)	Tiempo de Retención. (min)
Septiembre 9	43.3	25×10^3	105
Agosto 6	53	38×10^3	120
Agosto 8	62.5	29×10^3	110

VALORES SELECCIONADOS: Carga superficial:=25×10^3 l/m^2 dia

Tiempo de Retención:= 120 min.

DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR

Aplicando los factores de escalamiento, los valores considerados para el diseño son:

Carga superficial:= $25 \times 10^3 / 1.5 = 16.66 \times 10^3$ l/m^2.dia

Tiempo de retención= $120 \times 1.75 = 210$ min. (3.5hr.)

Gasto de diseño= 23 l/seg (Este es el gasto máximo promedio. Solo es rebasado por intervalos no mayores a 30 seg.

$$\text{Area} = \frac{23\ l/seg \times 3600\ seg/h \times 24\ h/dia}{16.66\ l/m^2\ dia} = 122\ m^2 = 125\ m^2$$

$$\text{Profundidad efectiva} = \frac{23\ l/seg \times 3600\ seg/h \times 24\ h/dia \times 210\ min}{125\ m^2 \times 60\ min/h \times 24\ h/dia \times 1000\ l/m^3}$$

$$p.E = 2.31m \approx 2.5\ m$$

Relación Ancho: Largo recomendada , 1:3 a 1:5.

Dimensiones tanque rectangular: Largo =25 m
Ancho = 5 m
Alto =2.5m

Dimensiones tanque circular: Diámetro:=12.5m
Alto = 2.5m

DIFERENTES TANQUES Y SUS CARACTERISTICAS PRINCIPALES.

1.- Tanques rectangulares. Requiere menos espacio que los circulares. Sus paredes pueden ser comunes a otro tanque. El costo de mantenimiento del equipo de remoción (cadenas con rastras) es mayor por ser mas complicado y de importación. Su protección contra la corrosión es menos eficiente.

La longitud máxima para los tanques rectangulares es de 300 ft. (35) siendo un valor normal el de 100 ft (37). Para anchos mayores a 20 ft. requieren de varios pares de cadenas para la remoción de los lodos. Existen tanques hasta con 100 ft de ancho (35). Cuando se requieren este tipo de unidades múltiples, se emplea un colector transversal para el transporte de los lodos a la salida única. Recomendaciones para el diseño de la entrada y la salida pueden encontrarse en la literatura (35).

Relaciones largo-ancho que van de 3:1 a 5:1 son usadas comunmente (37), aunque estas recomendaciones difieren ligeramente a las dadas por otros autores (35, 39). Profundidades de 8 a 12 ft o 7 a 15 ft son también recomendadas, siendo la promedio de 10 ft (37). La mampara de entrada esta situada a una distancia de 5 a 10 % la longitud del tanque y va de la superficie hasta una profundidad de 2 o 3 ft (37).

Para la recolección de los lodos emplean un sistema mecánico de cadenas metálicas con rastras de madera, concentrándose los lodos en un colector no mayor de 2 ft de donde se removerán continuamente o a intervalos de 30 min a 12 hrs. según el tipo de planta (35).

2.- Tanques circulares y cuadrados. El tamaño de los circulares varía de 12 a 200 ft de diámetro (35), prefiriéndose los tanques con diametros no mayores a 100 ft. Los cuadrados rara vez sobrepasan los 70 ft (37) . El agua se introduce al tanque por un alimentador central, pasando el tubo de entrada por debajo o por encima del tanque (sostenido por un puente), según el tamaño del tanque. El flujo de agua tratada es radial y la velocidad de entrada no debe exceder 1 fps (37).

La recolección de los lodos se hace utilizando rastras (5 a 8 fpm de velocidad periférica) que transportan principalmente los sólidos mas pesados y aquellos que se pegan al fondo-

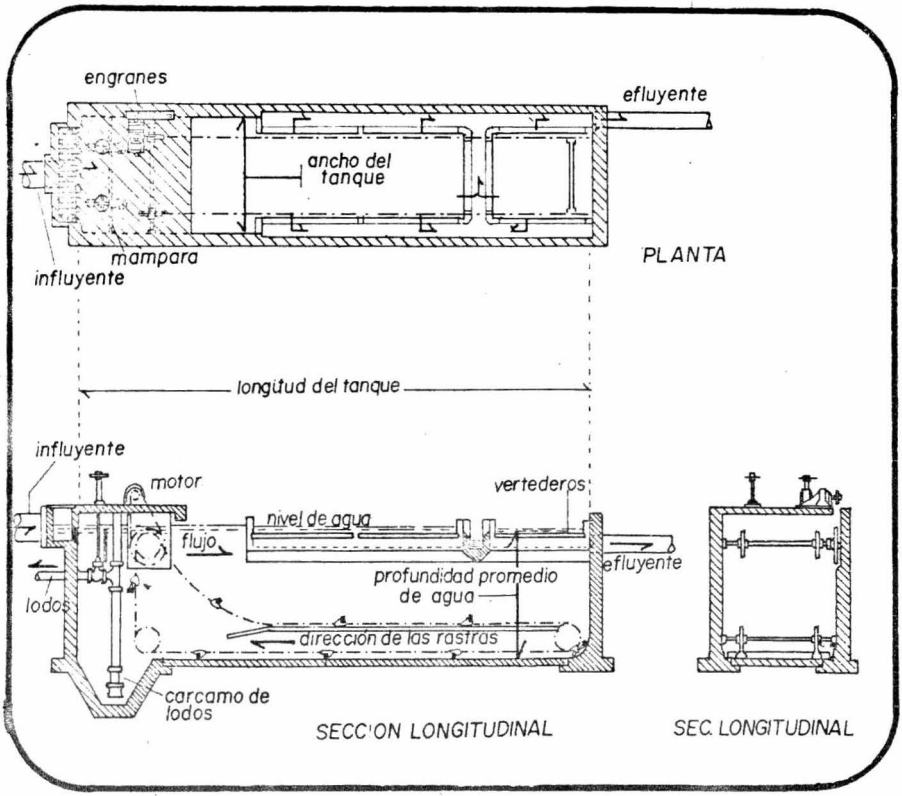


FIG. No. 23 —— DIAGRAMA DE UN SEDIMENTADOR RECTANGULAR CON RASTRAS MOVIDAS POR CADENAS

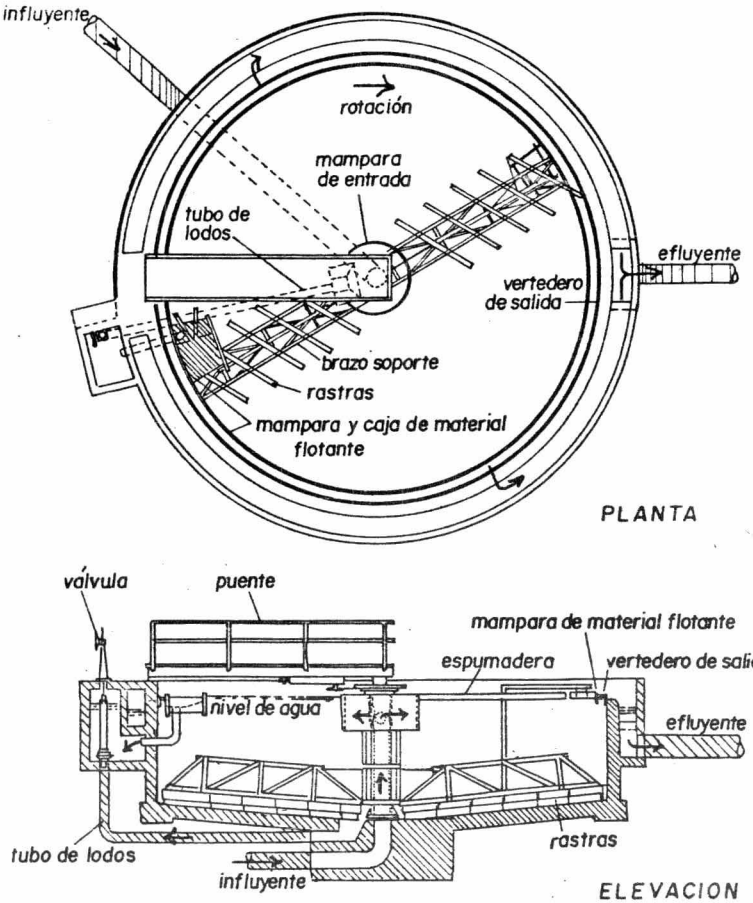


FIG. No. 24——DIAGRAMA DE UN SEDIMENTADOR CIRCULAR DE REMOCION MECANICA

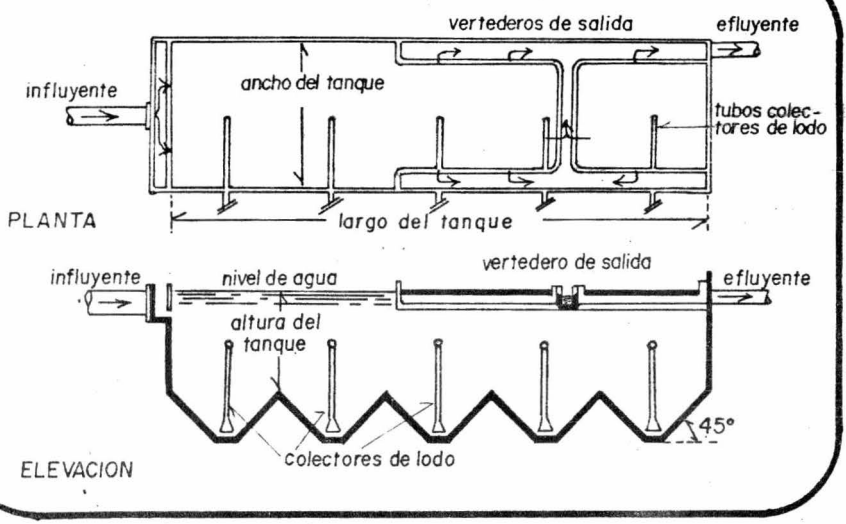


FIG. No. 25 ——— DIAGRAMA DE UN SEDIMENTADOR RECTANGULAR DE REMOCION HIDRAULICA DE LODOS

del tanque. La mayoría caerá simplemente por gravedad debido a-- la pendiente del tanque, la cual puede ser hasta del 18 % (39).- Los sólidos son extraídos a intervalos. Cuentan con una mampara- para impedir la salida de las natas con el efluente clarificado. Dichas natas son recolectadas mecánicamente. También tienen una- mampara de entrada cuyo diámetro es el 10-20 % del diámetro del- tanque y cuya profundidad fluctua entre 2 y 6 ft. La profundi-- dad de éstos tanques es de 7-14 ft según valores recomendados -- por la literatura.

Para los tanques cuadrados, las rastras tienen una adaptación que permite recolectar los lodos de las esquinas del tanque, que por otro lado tienen una pendiente en el fondo de 45° hasta el punto donde tocan todas las rastras.

3.- Tanques de remoción hidráulica. Tienen las mismas características de los tanques rectangulares, pero el fondo lo constituyen tolvas cuadradas con pendiente de 45° para facilitar la concentración de los lodos. Estos son removidos hidráulicamente periódicamente según las características de la planta.

En caso de tener varias tolvas, conviene juntar los lodos de todas ellas en un solo tubo con el fin de simplificar la- operación del tanque.

4.- Reactores. Son tanques de diseño patentado que unen en un solo equipo las operaciones de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Pueden incluir el sistema de contacto de sólidos que favorece la floculación y por lo tanto la sedimentación, disminuyendo los tiempos de retención de todo el sistema a aproximadamente- una hora.

En nuestro caso no se necesita de la mezcla rápida y la- floculación por lo que se desecha este tipo de tanque. El sistema de contacto sólido tampoco es conveniente en casos en los que la- cantidad de sólidos manejados es variable.

EVALUACION ECONOMICA DE LOS DIFERENTES TANQUES

Bases para la evaluación de los costos:

a) Costo unitario por metro cúbico de concreto, considerando paredes con un espesor promedio de 20 cm , $2120/m^3$

Por m^2 de pared :

Cimbra $ 200^{00}$

Varilla 64^{00}

Concreto 160^{00}

Total 424^{00} por m^2 de pared incluyendo -- mano de obra.

Por m^3 se tiene 5 veces esa cantidad (20 cm x 5 = 100 cm),

$\$ 2120/m^3$

b) Precio unitario por excavar, $\$ 81/m^3$

c) Para el precio del equipo se solicitaron cotizaciones verba-- les a diferentes compañías (Jamex, Envirotech de México, Dorr - Oliver de México) una de las cuales nos proporcionó una cotiza - ción por escrito la cual aparece en los anexos.

Tabla VIII. Dimensiones de los diferentes tanques sedimentadores.

TIPO	DIMENSIONES	VOLUMEN DE CONCRETO	VOLUMEN DE TIERRAS A EXCAVAR.
Circular (Remoción mecánica)	Diametro, 12.5 m. Fondo, 2.2 m.	40.5 m^3	300 m^3
Rectangular (Remoción mecánica)	Largo, 23 m Ancho, 5.5 m Alto, 3 m	59.5 m^3	442 m^3
Rectangular (Remoción Hidráulica)	Largo, 25 m Ancho , 5 m Alto, 2.5 m	115 m^3	462 m^3

Tabla IX Costos de los tanques sedimentadores.

TIPO	COSTO EQUIPO	COSTO TANQUE	COSTO EXCAVACION	COSTO TOTAL
Rectangular (Remoción mecánica)	$266 740	$85 860	$24 300	$376 900
Rectangular (Remoción mecánica)	$315 000	$126 140	$35 800	$476 940
Rectangular (Remoción hidráulica)	$30 000	$243 800	$37 420	$311 220

Como puede verse en la tabla, el tanque mas económico - es el de remoción hidráulica por lo que respecta a la inversión - inicial, Su operación es también mas económica pues no requiere- de energía eléctrica. Es por lo tanto el sedimentador seleccionado.

DISEÑO DEL SIDEMENTADOR DE ALTA VELOCIDAD.

Este término se refiere a los sedimentadores con tiempo de retención menores de 15 min y con eficiencias iguales o mayores a los sedimentadores tradicionales.

Los sedimentadores de alta velocidad pueden ser de cualquier forma geométrica. Dentro de la tina se colocan placas o tubos cuyo grado de inclinación varía. Los tubos pueden ser de sección circular, cuadrada y últimamente se están haciendo de sección hexagonal para no desperdiciar espacio en los tubos circulares (espacio entre tubos) y evitar los problemas de flujo que tienen los de sección cuadrada. Pueden ser de flujo ascendente o descendente y la remoción de los lodos puede ser, como en los tradicionales, hidráulico o mecánica.

La idea de éstos sedimentadores fue sugerida en 1904 por Hasen (44), explorada por Camp en 1946 (29) y demostrada por Hasen y Culp en 1967 (45). El desarrollo teórico del cálculo para estos sedimentadores está basando en los conceptos de Camp y fue hecho por Yao (26) en 1970. Las ecuaciones obtenidas por Yao son las siguientes:

Para la carga superficial: $C.S. = C \left(Sc \frac{L}{\text{Sen } \Theta + L \text{ Cos } \Theta}\right) \frac{Vo}{L}$ ..... ec (5)

Para tubos circulares:

$Sc = (Vs/Vo)(\text{Sen } \Theta + L \text{ Cos } \Theta) = 4/3$; $L' = 0.05 \text{ Vo } d/\nu$ ...ec (6,7)

donde: Sc=S crítica

$S = (Vs/Vo)(\text{Sen } \Theta + L \text{ Cos } \Theta)$ ..... ec (8)

$V_{Sc} = V_S$ crítica

VS= Velocidad promedio del flujo a través del Sedimentador (L/T)

Θ = Angulo de inclinación de los tubos

L = Longitud relativa de los tubos= l/d

l = Longitud de los tubos (L)

d = Diámetro de los tubos (L)

ν = Viscosidad cinemática (L^2/T)

C.S.= Carga superficial (L/T)

C = Constante para el ajuste de las dimensiones de la carga superficial. Su valor depende del sistema de unidades en el que se trabaje.

Si Vo = cm/min y C.S.= m^3/dia. m^2 ..... C = 14.4

L' = Longitud relativa de la zona de transición para -- establecer flujo laminar en los tubos. Si L' > L -- la longitud relativa total será 2L.

Estas ecuaciones fueron obtenidas teóricamente para sedimentadores de tubos cuadrados y de flujo ascendente. Yao encontró (46) que los sedimentadores de flujo descendente pueden ser mas eficientes, pero aún no se ha encontrado la forma de desarrollar las ecuaciones teóricas, ni se han podido efectuar las pruebas para comprobarlo plenamente.

Yao encontró (46) como Hasen y Culp ya habían dicho -- (45), como la eficiencia mejoraba al incrementarse la cantidad - de sólidos presentes en el influente (flujo ascendente), debido al aumento del número de colisiones entre los sólidos que suben y los que caen. Asi mismo encontró que la velocidad promedió óptima de flujo en el tanque parapermitir la remoción de los lo - dos es de 16.3 cm/min.

Culp, Hasen y Richardson (50) encontraron que la inclinación de los tubos para obtener la mejor eficiencia estaba entre- 25-35° pero se presentaban problemas para retirar los lodos delfondo de los tubos, recomendando por lo tanto una inclinación de 60° , suficiente para permitir la caída de los sólidos por gravedad dentro de los tubos.

Gebauer (47), Culp y Culp (48) y Culp, Hasen y Richardson (50) mencionan que en la práctica, el área requerida por los sedimentadores tubulares se reduce solamente a la mitad o cuando - mucho a una tercera parte del área necesaria en los sedimentadores tradicionales y no la reducción teórica obtenida por Yao y - que mostramos mas adelante. Esto se debe a las corrientes formadas a la entrada de los tubos y que impiden la libre caída de -- los sólidos ya sedimentados volviéndolos a suspender en el senodel líquido, sobre todo en las regiones cercanas a la zona de -- alimentación.

Los sedimentadores de placas presentaban inicialmente - mayores problemas hidráulicos que los tubulares, pero últimamente la compañía italiana Lamella ha lanzado al mercado unos que - permiten la remoción de los lodos por la parte inferior y la en-

trada y salida del agua por la parte superior evitando la resuspensión de los sólidos. Según la publicidad de la compañía, el area requerida es un 10-15 % de la requerida por los sedimentadores tradicionales.

Cálculo del sedimentador de alta velocidad de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Yao:

$\theta = 60^{o}$

$d = 2$ in $= 5.08$ cm (Tamaño comercial de la Neptune Microfloc, Inc.)

$Vo = 16.3$ cm/min

$C.S. = 16.66 \times 10^{3}$ l/m^2.dia Dato experimental obtenido.

$C.S. = 16.66 \times 10^{3} \times 2 = 33.32 \times 10^{3}$ l/m^2.dia Corregido para Sedimentador de alta velocidad.

$$\nu = \frac{0.0085 \text{ gr/cm.seg} \times 60 \text{ seg/min}}{0.997 \text{ gr/cm}^3}$$

$\nu = 0.512$ cm^2/min (Para agua a 26°C) (49)

$C = 14.4$ y $Sc = 4/3$

De la ecuación (5):

$$L = \frac{(CScVo)/C.S. - Sen\theta}{Cos\,\theta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ ec (9)}$$

Sustituyendo en la ecuación (9):

$L = 17$

Sustituyendo en la ecuación (7):

$L' = 9.38$

$L_{Total} = L + L' = 26.4$

$l = Ld$ ..... ec (10)

Sustituyendo:

$l = 26.38 \times 5.08 = 134$ cm

El tiempo de retención será:

$t = l/v$

Longitud de los tubos = 134 cm.

Tiempo de retención = $134\ cm / 16.3\ cm/min = 8.22$ min.

Gasto, Q = 23 l/seg

Volumen = 23 l/seg x 60 seg/min x 8.22 min = 11345 l

Area tubos = Volumen/Longitud tubos = 8.5 m^2

Area = $8.5 m^2$

LaNeptune Microflec, Inc. fabrica ya comercialmente tubos cuadrados de 2 pulgadas, con una inclinación de 60° . El material de los tubos es PVC, pero recomienda en su publicidad que solo se reduzca el area de sedimentación a la mitad o una tercera parte de la tradicional, lo que esta de acuerdo con los investigadores ya mencionados.

TEMPERATURA

La temperatura de descarga es superior a la permitida - por la norma en muchos casos, siendo necesario enfriar las aguas problema para estar dentro de los límites establecidos.

Existen diferentes formas de disminuir la temperatura,- estando el cálculo de todas ellas basado en las condiciones atmosféricas del lugar y en la temperatura del agua a tratar.

Para conocer la temperatura de salida del agua, es necesario calcular la temperatura máxima del agua alcanzada después del proceso de neutralización, el cual tiene lugar con anterioridad al proceso de sedimentación, que a su vez se realiza antes - del proceso de enfriamiento debido a que mayores temperaturas -- favorecen la separación de los sólidos por sedimentación al disminuir la viscosidad del fluido. Por otro lado, la neutralización se efectúa antes de enfriar las aguas pues se eleva la temperatura durante el proceso y antes de la sedimentación para separar los sólidos añadidos a las aguas problema durante el proceso.

CALCULO DE LA TEMPERATURA A LA SALIDA DEL PROCESO DE NEUTRALIZACION.

La temperatura buscada es función de la temperatura de- entrada al proceso, del calor de reacción generado dentro del -- mismo, de la concentración del ácido acético a neutralizar (proveniente de las naves dos y tres de la planta) y del gasto de -- agua a tratar.

La concentración del ácido acético puede obtenerse a -- partir del pH de la solución. Para consideraciones de diseño se- desprecia el valor mas bajo que solo se presentó una vez y se toma el siguiente, evitando así tomar al mismo tiempo todas las -- condiciones extremas lo que muy dificilmente sucederá en la realidad, e impidiendo de esta forma sobrediseñar excesivamente el- equipo.

$$pH = 2.6$$

Despejando:

$$pH = -\log (H_3O^+) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{ec.(11)}$$

$$(H_3O^+) = 10^{-pH}$$

Sustituyendo:

$$(H_3O^+)_{total} = 2.5125 \times 10^{-3} \text{ moles/l}$$

La disolución del ácido acético está representada por - la reacción:

$$CH_3COOH_{aq} \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$$

Para la cual:

$$Ka = \frac{(CH_3COO^-)(H_3O^+)_A}{(CH_3COOH)} \quad \ldots\ldots \text{ ec (12)}$$

Ka = Constante de ionización

Ka = 1.86×10^{-5} (49)

Como la concentración de iones (H_3O^+) se debe también a la ionización del agua, se tiene:

$$H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

Cumpliéndose: $Kw = (H_3O^+)_B(OH^-)$ ..... ec (13)

$Kw = 1.718 \times 10^{-14}$ a T = 38°C (49)

Temperatura mas común según los datos mostrados en la tabla III.

Como:

$$(H_3O^+)_B = (OH^-) = X$$

Sustituyendo en ec (13):

$$1.718 \times 10^{-4} = X^2$$

$$(H_3O^+)_B = X = 1.31 \times 10^{-7}$$

$$(H_3O^+)_{total} = (H_3O^+)_A + (H_3O^+)_B$$

Sustituyendo:

$$(H_3O^+)_{total} = (2.5124)$$

Como:

$$(CH_3COO^-) = (H_3O^+)_A$$

Sustityendo en ec (12)

$$(CH_3COOH) = 0.3394 \text{ moles/l}$$

Considerando que el pH se eleva a 5 para estar dentro del límite permitido, la cantidad de ácido acético presente al final de la neutralización será, siguiendo los mismos cálculos:

$$(CH_3COOH)_{final} = 0.538 \times 10^{-5} \text{ moles/l}$$

Número de moles neutralizados, 0.3394 moles/l

Tomando como gasto máximo promedio 23 l/seg, (*) los moles del ácido acético neutralizados en un segundo serán:

$$N = 0.3394 \text{ moles/l} \times 23 \text{ l/seg} = 7.8 \text{ moles/seg}$$

Cálculo del calor de reacción de neutralización del ácido acético a 38°C:

$$\Delta H_R\Big|_{38^oC} = \Delta H_R\Big|_{25^oC} + \int_{25}^{38} nCp_{\text{ácido acético}}\,dT + \int_{25}^{38} nCp_{\text{hidróxido de calcio}}\,dT + \int_{38}^{25} nCp_{agua}\,dT + \int_{38}^{25} nCp_{\text{acetato de calcio}}\,dT \quad \text{..... ec (15)}$$

$$\Delta H_R\Big|_{25^oC} = nH_f \text{ agua} + nH_f \text{ acetato de calcio} - nH_f \text{ ácido acético} - nH_f \text{ hidróxido de calcio} \quad \text{.....ec (16)}$$

(*) Este gasto solo será excedido momentáneamente (30 seg. máx) en ciertas ocasiones, siendo un gasto de diseño seguro. Cuando llegan a presentarse condiciones mas críticas, podrá subir mas- la temperatura, pero al mezclarse el agua en el sedimentador, - cuyo tiempo de retención es 3.5 h. , tenderán a nivelarse las - temperaturas en un promedio inferior. Datos (50, 51):

Datos (50,51):

$H_{f\ agua} = -68.3174$ Kcal/mol

$H_{f\ \text{acetato de calcio aq.}} = -364.1$ Kcal/mol

$H_{f\ \text{ácido acético aq.}} = -116.74$ Kcal/mol

$H_{f\ \text{hidróxido de calcio aq.}} = -235.8$ Kcal/mol

H_f = Calores de formación.

Cp = Capacidades caloríficas.

$Cp_{\text{ácido acético}} = 32.1$ cal/°C mol

$Cp_{\text{hidróxido de calcio}} = 21.4$ cal/°C mol

$Cp_{agua} = 18$ cal/°C mol

$Cp_{\text{acetato de calcio}} = 37.6$ cal/°C mol

Sustituyendo en la ec (16):

$$\Delta H_R\Big|_{25°C} = -31.455 \text{ Kcal}$$

Sustituyendo en la ec (15):

$$\Delta H_R\Big|_{35^\circ C} = 31.3 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto, la cantidad de calor desprendido en un-segundo será:

$$Q = 7.8 \frac{\text{moles de } CH_3COOH}{\text{seg}} \times 31.3 \cdot \frac{\text{kcal}}{2 \text{ moles } CH_3COOH \text{ según la reacción de neutralizacion.}}$$

$$Q = 122 \text{ kcal/seg}$$

La temperatura máxima promedio a la salida de la planta, entrada al proceso de neutralización, es de 41°C según datos de tabla III. Este dato es bueno para el diseño.

La temperatura a la salida de la tina de neutralización será:

$$Q = m\ Cp\ t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ec (17)}$$

$$Q = 122 \text{ kcal/seg}$$

$$m = 23 \text{ l/seg} \times 1000 \text{ gr/l}$$
$$Cp = 1 \text{ cal/gr}^\circ C \times 10^{-3} \text{ kcal/cal}$$

Sustituyendo:

$$\Delta t = 5.3^\circ$$
$$t_2 = 5.3^\circ + 41^\circ = 46.3^\circ C$$

CALCULO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL PROCESO DE SEDIMENTACION.

El sedimentador actuará como una pequeña laguna de enfriamiento. Para calcular la temperatura de salida del tanque, se utilizó el método que aparece en el artículo de Langhaar (52,53)

$T_{agua\ caliente} = 46.3^\circ C = 115.3^\circ F$ (Temperatura de salida del proceso de neutralización.

$T_{aire.Bulbo\ seco} = 31^\circ C = 87.8^\circ F$ (54)

La temperatura de diseño se selecciona de tal forma que no sea rebasada por mas del 5% de las temperaturas de mediodia -

de verano (junio a septiembre) para no tener problemas, otros -- recomiendan evitar sea sobrepasada de por mas del 2.5 % de las - horas de verano. (55, 56 y 57).

. Taire. Bulbo humedo = 20°C = 68°F (54)

Humedad relativa = 40% obtenida de la carta psicométrica para la Cd. de Cuernavaca, mostrada en los anexos.

(W) Velocidad del viento = 0.5 $^{m}/_{seg}$ (Dirección Sur-Oeste)
W=2.24 mph
Velocidad mas común en el año y en verano, obtenida en el Servicio Meteorológico Nacional.

Radiación Solar (Hs). No hay datos para la Cda. de Cuernavaca, solo existen el número de horas Sol. Se tomará por lo tanto el - valor que aparece en el artículo para una latitud norte de 30°(Siendo la mas cercana a Cuernavaca, cuyas latitudes de 18°55').

$$Hs = 130\ ^{BTU}/_{hr\ Ft^2} = 8454\ ^{Cal}/_{seg.cm^2}$$

No existe turbulencia en el tanque.

El artículo presenta la resolución a la ecuación mostrada a continuación, en la cual se incluyen las pérdidas de calor por evaporación, convección y radiación y las ganancias por radiacción.

$$Au = \frac{75}{10^{0.008\ E}\ (W + 11)} (F_1 - F_2) \quad \text{.....ec.(18)}$$

$$F = 166 \log D - 0.62\ D + 0.0007\ D^2 \quad \text{.....ec.(19)}$$

Donde: Au = Area de la laguna /GPM
W = Vel. del viento
D = Acercamiento al equilibrio=Tw -E
Tw= Temperatura del agua en la superficie.
E = Temperatura de equilibrio. A esta temperatura no hay pérdida ni ganancia de calor a las condiciones atmosféricas dadas.

Del nomograma que aparece como figura (1) en el artículo al que se hace referencia (p-149), se tiene que la temperatu

ra de equilibrio para las condiciones dadas es E = 100°F = 37.8°C (Figura 26)

Este nonograma está basado en la ecuación :

$$(1.8+0.12W)E + 75(1+0.1W)Ve = (1.8+0.12W)Ta + (1+0.1W)RVt + H_s$$

Donde: Ta = Tamp. del aire (°F)

R = Humedad relativa

Ve= Presión de vapor del agua a la temperatura E. (in de Hg)

Vt = Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (In de Hg)

(Presión del nomograma ±2°F para R<50)

En el nomograma que aparece como figura (2) en el artículo de Langhaer se obtiene el factor Q' , que representa la primera parte de la ecuación, (Figura 29)

$$Q' = 0.9$$

$$A_{sedimentador} = 125 m^2, (25m \times 5m) = 1345 \ Ft^2$$

Para un gasto de 23 l/seg (364.6 GPM) se tiene una area unitaria, Au =1345/364.6 = 3.7 ft^2/GPM = 5.45 m^2/lps

De la ecuación (18)

$$Au = Q'xP \quad \text{.....ec(21)}$$

$$Q' = \frac{75}{10^{0.008\,E}\,(W + 11)} \quad \text{.....ec(22)}$$

$$P = F_1 + F_2 \quad \text{.....ec(23)}$$

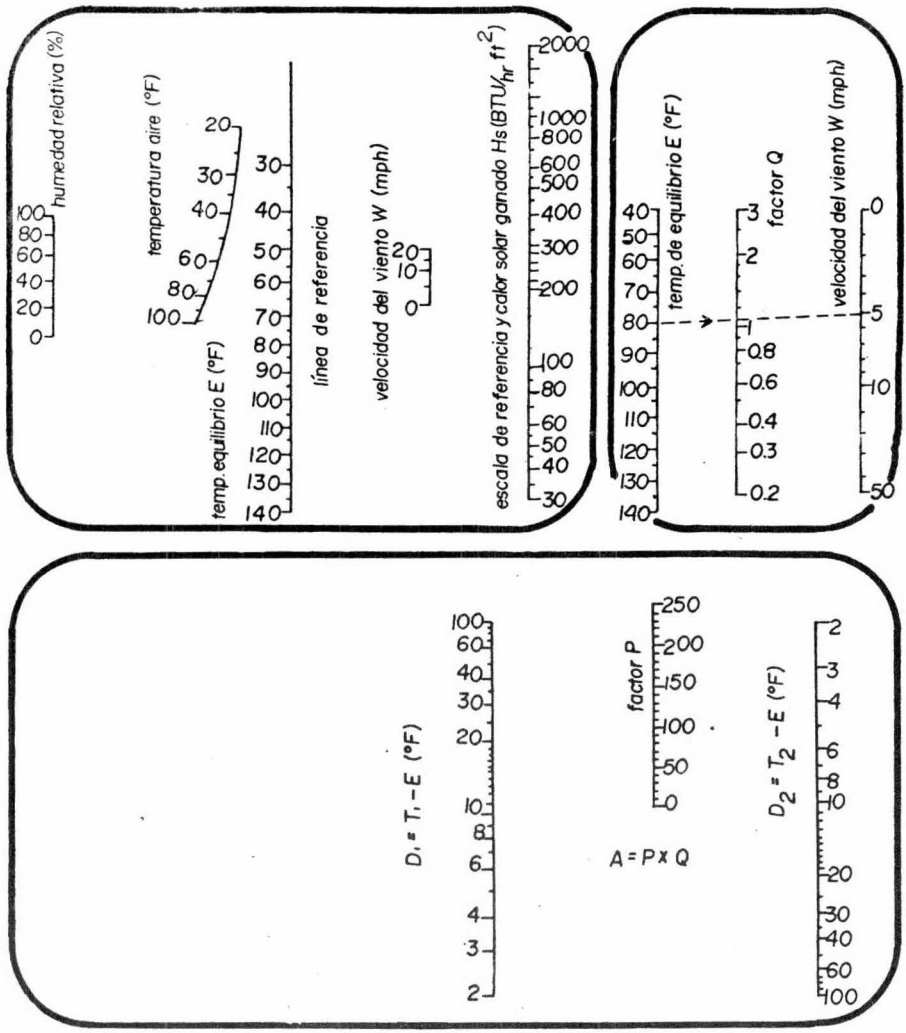
Sustituyendo:

$$(F_1 - F_2) = P = 4.1$$

Del nomograma que relaciona el Factor P con los acercamientos (Solución a la ecuación (18)) a la temperatura de equilibrio de las temperaturas de entrada y de salida (Figura 3) - - - (Figura 28) se obtiene que para $D_1 = T_1 - E$ = 115.3-100=15.3°F y P= 4.1 el acercamiento a la salida es:

$$D_2 = 14^0$$

$$T = D + E = 114°F = 45.5°C$$



llave para la fig.26 : Hp — temp. aire — escala E
escala E — W — escala de referencia
al valor de referencia añada Hs
nuevo valor de referencia — W — valor E
valor E — fig.27

FIG. No. 26 ——— CARTA PARA ENCONTRAR LA TEMPERATURA DE EQUILIBRIO
FIG. No. 27 ——— CARTA PARA ENCONTRAR EL FACTOR Q
FIG. No. 28 ——— CARTA PARA ENCONTRAR EL ACERCAMIENTO DE SALIDA CONOCIENDO EL FACTOR P

Por lo tanto, el sedimentador no -- basta para enfriar el agua a una -- temperatura que caiga dentro de la- norma.

De acuerdo al Hand book de Kent (58 , el calor disipado de una laguna es 3.5 BTU/h ft^2 de superficie, y por grado Farenheit de diferencia entre la temperatura del - agua y la del aire.

Según este otro criterio:

$$Q = 3.5 \text{ BTU/h } ft^2 \times 1345 \ ft^2 \times (115.3 - 87.8)^{\circ}F \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}}$$

$Q = 35.95$ BTU/seg = 9.1 kcal/seg , como $Q = m \ Cp \ \Delta t$

Sustituyendo:

$$t = \frac{9.1 \text{ kcal/seg}}{23 \text{ kg/seg} \times 1 \text{ kcal/kg } ^{\circ}C} = 0.4^{\circ}C$$

$$t_2 = t_1 - \Delta t$$

$$t_2 = 115.3 - 0.4 \approx 115^{\circ}F = 46^{\circ}C$$

Esta temperatura esta de acuerdo a la temperatura calcu lada siguiendo el método de Langhaar.

Temperatura de salida del sedimentador= $46^{\circ}C$

METODOS PARA ENFRIAR EL AGUA

1. Lagunas de enfriamiento.
2. Fuentes.
3. Torres de enfriamiento atmosféricas.
4. Torres de enfriamiento de tiro natural.
5. Torres de enfriamiento de tito forzado.
6. Torres de enfriamiento de tiro inducido.
7. Enfriadores de superficie seca (cambiadores de enfriamiento- por aire).

Los seis primeros métodos enfrian el agua principalmente por evaporación de ella misma, calor latente (80%) y solo unpoco por el calor transferido del agua al aire, calor sensible - (20%). El último método solo enfriará el agua por valor sensi -- ble transferido.

1. Lagunas de enfriamiento: Son recomendables en el caso de encontrarse un lago natural cercano a las instalaciones de la fábrica. Se requiere un gran espacio. Funcionan depositando el agua en uno de sus puntos y tomándola en el extremo opuesto. Es la forma mas económica de enfriar el agua. No podrá utilizarse en el caso estudiado aquí por no existir una de las lagunas mencionadas en un punto cercano a la planta.

2. Fuentes. Consiste en unas albercas equipadas con rociadores instalados sobre la superficie del agua. Requieren 20 veces menos superficie que las lagunas de enfriamiento. El agua se bombea a un sistema de espreas con los orificios señalando hacia arriba. El agua sale a presión por los orificios, elevándose y enfriándose a medida que cae a la alberca. Presiones de 5 a 7 psi son necesarias (57.58). Para su buen funcionamiento es conveniente hacer incidir el viento en dirección normal al eje de latina. Los orificios deben producir pequeñas gotas y no niebla para evitar grandes pérdidas de agua por el arrastre del viento.

Este método es factible en el presente estudio al contarse con el terreno disponible y no importar la cantidad de agua arrastrada por el viento.

3. Torres de enfriamiento atmosféricas: Despenden de la velocidad del viento. Para su buen funcionamiento requieren que la velocidad esté dentro del rango de 4.5 a 6.5 mph. Operan a flujo cruzado con el viento. La temperatura del agua dificilmente se acerca a 4°F de la temperatura de bulbo húmedo del aire (59). No requiere de ventiladores pero necesita bombearse el agua a la parte superior de la torre. Tienen un sistema de espreas de donde el agua cae en forma de gotas, mientras una corriente de aire pasa a través de una persiana de madera para evitar las pérdidas de agua. El funcionamiento es similar al de la alberca con rociadores. Su costo es mayor al sistema de rociadores por lo que se prefiere al sistema anterior. Para su cálculo puede acudirse a la literatura (60, 61).

4. Torres de enfriamiento de tiro natural: Son torres con empaque de madera. El agua cae desde la parte superior a través de un sistema de distribución, golpeando el empaque al bajar y formandose gotas que aumentan el area de contacto agua-aire necesa_

rio para la transferencia de calor. El aire fluye a contraco --- rriente del agua dentro de la torre.

Este tipo de torres puede diseñarse para operar sin - - viento ya que al calentarse el aire, sube (disminuye su densi -- dad), formándose una corriente por el vacío generado al elevar-- se el aire.

Su funcionamiento decae en dias cálidos al disminuir el- gradiente de temperaturas existente dentro de la torre y su cos- to inicial es elevado por la magnitud de las torres. El costo de operación también es alto al tener que bombear el agua a su pun- to de alimentación. Existen torres hasta de 310 pies de altura - con un diámetro en la base de 210 pies y en la garganta 120 - -- pies (59). Es por las razones recien mencionadas que desprecia - mos este tipo de torres para el enfriamiento de las aguas pro -- blema. Para su cálculo puede recurrirse a la literatura (61).

5. Torres de tiro forzado: Utilizan ventiladores en su base pa - ra forzar la entrada del aire a la torre empacada. El empaque -- puede ser madera de secoya, metal, asbesto cemento, mamposteria- o plástico según las características del agua. La velocidad de - entrada del aire es grande por ser pequeñas las entradas, pero - la velocidad de salida es baja por lo que gran cantidad del ai- re es recirculado, bajando la eficiencia de la torre por lo que- se prefieren normalmente las torres de tiro inducido que se men - cionan mas adelante. Como el aire succionado es atmosférico en su mayor parte, los problemas de corrosión del ventilador son po -- cos . El área ocupada es cerca de 50 veces menor a la requerida- por la alberca con espreas y 1000 veces menor a la de las lagu-- nas de enfriamiento (58). Requieren de energía para subir el -- agua a su parte superior y para impulsar el ventilador. No nece- sitan viento para operar y acercamientos entre 5 y 10°F se ob -- tienen facilmente con razonables costos de operación (62). Nece- sitan mas mantenimiento que las fuentes pero su eficiencia es -- mejor.

6. Torres de tiro inducido: Son similares a las anteriores pero- los ventiladores están colocados en la parte superior de la to - rre, permitiendo mayores velocidades de salida y por lo tanto me nor recirculación del aire húmedo y caliente. Para torres de ti- ro forzado la recirculación está entre 3-10% y para torres de ti

ro inducido entre 1-8% (63). Como el aire húmedo esta en contacto con las hélices del ventilador necesitan protejerse contra -- la corrosión, aumentando ligeramente su costo. El sistema motriz del ventilador esta protegido para evitar el contacto con el aire húmedo.

Este tipo de torre se considerará como otra posible alternativa pues es la torre con mejores características. Tampoco necesita del viento para operar y su eficiencia es superior a todos los otros métodos descritos.

Existen dos tipos de torres de tiro inducido, cuando -- el agua y el aire van a contraflujo o bien cuando van a flujo -- cruzado.

Las torres a contraflujo tienen la entrada de aire en - la parte inferior y la salida en la parte superior, existiendo - contacto entre el aire frio con el agua fria y el aire caliente con el agua caliente, mientras que las torres con flujo cruzado tienen la entrada de aire en toda la torre permitiendo el contacto del aire frio también con el agua caliente, por lo que para - acercamientos pequeños, menores a 7°F, el número de unidades de transferencia para un L/G constante es menor para las torres de flujo cruzado (64). Por otro lado la energía requerida es menor pues viaja en promedio menos distancia el aire, además de tener menores pérdidas a la entrada por ser mayor el area. Tienen menor altura pues la altura del empaque es aproximadamente igual a la altura de la torre y tienen facil acceso al sistema de distribución de agua.

7. Enfriadores de superficie seca. Vienen a ser los radiadores. El aire no se pone en contacto directo con el agua, no exis - - tiendo la evaporación y necesitándose por lo tanto mayores - -- areas de transferencia, aumentando tremendamente los costos.

CALCULO DE LA FUENTE.

El metodo aqui desarrollado esta basado en el mostrado por Perry (61).

Gasto de agua a enfriar = 23 l/seg= 365 GPM
Temperatura del agua entrada = 46°C = 115°F (Cálculos previos)
Temperatura de bulbo seco del aire de entrada =87.8°F= 31°C (54)

Temepratura de bulbo húmedo del aire de entrada = 68°F = 20°C(54)
Velocidad del viento = 1 m/seg = 197 ft/min (Servicio Meteorológico Nacional)

Para el diseño de los rociadores se toman los valores siguientes de acuerdo a las recomendaciones encontradas en la literatura (61, tabla 15-4).

Número de rociadores por 12 pies de longitud de tubo=5
Distancia entre los rociadores y los lados de la alberca = 25 -- pies = 7.6 metros.

Profundidad de la alberca = 2 pies = 0.61 metros.

Pérdidas por fricción por 100 pies de tubería con rociadores = 3in de agua = 76.2 mm de agua.

La alberca deberá colocarse en posición normal a la dirección del viento dominante en verano. El funcionamiento de las toberas mejorará disminuyendo la cantidad de agua espreada por - unidad de área de la tina, aumentando la altura del chorro, disminuyendo el diámetro de las gotas y aumentando la altura de la-- linea donde se encuentran los rociadores o la presión en los mismos.

Del catálogo de la Spraying System Co., DWG Nº 10510-FS-2 se selecciona el rociador tipo U FLAT SPRAY VEEJET NOZZLES con -- un ángulo de 50° pues da partículas relativamente finas distribuidas uniformemente en un volumen elevado y con bajas caidas de presión.

Datos proporcionados por el fabricante:

Rociador Nº 1U50580

Conección a tubería de 1 pulgada, macho.

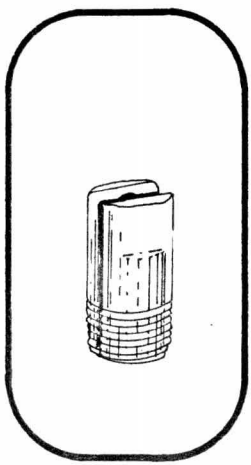
Diámetro equivalente del orificio = 35/64"

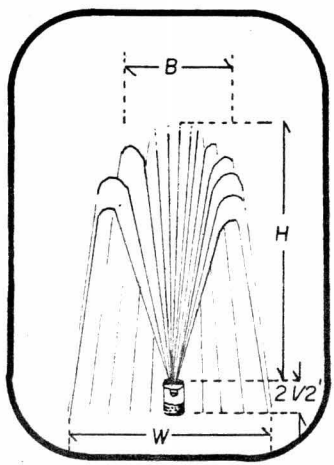
Longitud del rociador = 2.5'

Tabla X. Características de operación de los rociadores.

Capacidad (GPM)	Presión de operación (psi)	Dimensiones del Chorro (pies) H	W	B
16	3	4,5	9	4.5
21	5	7.5	17	8
29	10	14	26	13
36	15	18	28	14
41	20	20	29	14.5

Ver figuras 26 y 27





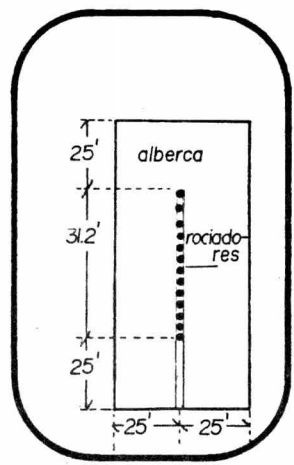


FIG. No 29 —— ROCIADOR MARCA SPRAYING SYSTEMS Co., TIPO "U"
NUMERO DWG.N°10510-FS-2, IU50580

FIG. No.30 —— DIMENSIONES DEL CHORRO

FIG. No.31 —— ESQUEMA DE LA FUENTE PROPUESTA

Número total de rociadores = 365 GPM/29 GPM = 12.6 ≈13

Capacidad/rociador = 365/13= 28 GPM/rociador=1.77 lps/ rociador.

Longitud de la tubería = 13 toberas x 12 ft/5 toberas= 31.2 ft = 9.5 m.

Para obtener un mejor enfriamiento del agua se colocará una sola hilera de rociadores.

Longitud de la alberca = 31.2 + 25 = 81.2 ft = 24.8 m.

Ancho de la alberca = 25 + 25 = 50 ft = 15.2m

Area efectiva de contacto agua aire = (31.2 + 26) x -- (14 + 2.5) = 943.8 ft^2

$$Ae = 943.8\ ft^2 = 87.7 m^2$$

Flujo de aire = Ae x W .....ec (24)

$$Fa = 87.7\ m^2 \times 1\ m/seg \times 1000\ l/m^3 = 87700\ l/seg$$

$$\rho_{aire} = PM/RT \quad \text{.....ec (25)}$$

donde: P = Presión (atm) = 600 mm Hg

Fa= Flujo de aire

M = Peso molecular

R = Cte gral. del estado gaseoso

T = Temperatura de bulbo seco del aire

Sustituyendo: $\rho_{aire} = 0.918$ gr/l

Masa velocidad del aire (G).

$G = 87700\ l/seg \times 0.000918\ kg/l \times 60\ seg/min = 4830 \frac{kg}{min}$

Masa velocidad del agua (L).

$L = 23\ l/seg \times 1\ kg/l \times 60\ seg/min = 1380\ kg/min$

La pendiente de la linea de operación del sistema está - dada por la ecuación:

$$L/G = h_2 - h_1 / T_1 - T_2 \quad \text{.....ec (26)}$$

Donde: h = entalpía del aire (BTU/lb de aire seco).

T = temperatura del agua (°F).

Subindice 1, condiciones de entrada

Subindice 2, condiciones de salida

Esta ecuación, está basada en la ecuación de Merkel que supone a cada partícula de agua completamente rodeada de una pe -

lícula de aire y la diferencia de entalpias entre la película - y el resto del aire proporciona la fuerza directora para el proceso de enfriamiento, esta ecuación es:

$$\frac{Ka\,V}{L} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{h' - h} \qquad \text{.....ec (27)}$$

Donde: K = Coeficiente de tranferencia de masa

a = Area de contacto(Ft^2/Ft^3 de volumen de torre)

V = Volumen de enfriamiento real (Ft^3/Ft^2 de area plana)

L = Masa velocidad del agua ($lb/_{hr}$)

h' = Entalpia del aire saturado a temp.del agua (BTU/lb)

h = Entalpa de la corriente de aire (BTU/lb)

T_1 y T_2 = Temperaturas de entrada y salida del agua (^oF)

Sustituyendo valores:

$$L/G = 1380/4830 = 0.285$$

h_1 = 16.1 kcal/kg aire seco = 28.95 BTU/lb aire seco
(De la carta psicométrica en el Anexo I)

Suponiendo T_{H_2O} de salida = $95^oF = 35^oC$

Sustituyendo en la ecuación (26):

$$0.285 = h_2 - 28.95 \;/\; 115 - 95$$

Despejando:

h_2 = 34.65 BTU/lb a.s. = 19.25 kcal/kg a. s.

Esta entalpia corresponde a un aire de salida con una-temperatura de bulbo humedo $T_{bh} = 23^oC = 73.4^oF$

Según la tabla 15-5 del Perry (61), para un rango de enfriamiento 20 ^oF, con una temperatura de bulbo húmedo de entrada del aire de 68^oF y una distancia recorrida por el aire (permaneciendo en contacto con el agua) de 26 ft, el acercamiento que se tiene es de 7^oF.

∴ Temperatura del agua fria = temperatura de bulbo + acercamiento del aire de salida

Temperatura del agua fria = $73.4 + 7 = 80.4^oF = 26.9^oC$

Como la temperatura supuesta es mucho mayor a la tempe -

ratura de salida del agua del sistema propuesto, siendo por lo -- tanto inferior al límite permitido por el reglamento para el control de la contaminación de las aguas (35°C = 95°F).

T_{H_2O} salida supuesta = 86°F = 30°C

Sustituyendo en la ecuación(26);

h_2 = 37.21 BTU/lb= 20.7 Kcal/Kg que corresponde a $T_{b.h.aire\ de\ salida}$ =

24.2°C = 75.6°F

Acercamiento según tabla 15-5 = 11°F

$T_{H_2O\ salida}$ = 75.6 + 11 = 86.6°F, checa con la supuesta

$T_{H_2O\ salida}$ = 30°C

CALCULO DEL DIAMETRO DEL TUBO AL CUAL SE CONECTAN LOS ROCIADORES

Número de rociadores = 13

Longitud de tubo = 31.2 ft = 9.5m

P descarga = 10 psi = 0.68 atm

Gasto = 23 l/seg = 0.82 ft^3/seg

Se requiereque la diferencia de descarga en los orificios no sea mayor al 1%. Método propuesto por Rich (65)

$$D = \left[\frac{q}{0.431\ C_H\ (h_{fo}/L)^{0.54}}\right]^{0.38} \quad \text{.....ec(29)}$$

Esta ecuación se obtiene a partir de la ecuación de -- Hazen-Williams para flujo en régimen turbulento.

Ch = 100 para tubo de acero comercial (71)

$$h_{fo} = 3\ h_f \quad \text{.....ec(30)}$$

$$h_f = h_{f1}\ (1 - \gamma^2) \quad \text{.....ec(31)}$$

$$h_{f1} = Kq_1^2 \quad \text{.....ec(32)}$$

Donde: K=Constante = 2×10^4

qn= Gasto en el orificio n (ft^3/seg)

h_{f_n} = Pérdidas por fricción en el orificio n. ft(lb/lbm)

hf = Pérdidas por fricción en el tubo del primero al último orificio.

γ = Relación de flujo entre el primero y el último orifi - cio (1%)

h_{f_o} = Pérdidas por fricción en el tubo cuando el flujo en - este es el inicial q_o.

L = Longitud del tubo.

Sustituyendo en ec.(32):

$$h_{f1} = 79.6 \text{ ft}(\overline{\text{lb}}/\text{lbm}) = 24.3 \text{ m}(\overline{\text{kg}}/\text{kgm})$$

Sustituyendo en ec.(31):

$$h_f = 1.58 \text{ ft}(\overline{\text{lb}}/\text{lbm}) = 0.48 \text{ m}(\overline{\text{kg}}/\text{kgm})$$

Sustituyendo en ec.(30):

$$h_{fo} = 4.75 \text{ ft}(\overline{\text{lb}}/\text{lbm}) = 1.45 \text{ m}(\overline{\text{kg}}/\text{kgm})$$

Sustituyendo en ec.(29):

$$D = 3.94 \text{ in} \approx 10 \text{ cm}$$

$$D_{\text{seleccionado}} = 4" = 10 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

El método gráfico utilizado está tomado del Ludwig (66) y se basa también en la ecuación de Merkel.

Gasto de agua = 23 l/seg = 365 GPM

Temperatura de entrada del agua = $46^oC = 115^oF$

Temperatura de bulbo seco del aire de entrada = $31^oC = 87.8^oF$

Temperatura de bulbo húmedo del aire de salida = $20^oC = 68\ ^oF$

Recirculación de aire supuesta = 3% , por ser torre de tiro in-- ducido (66).

Temperatura máxima de salida del agua = $35^oC = 95^oF$

Rango = 115 -95 = 20^oF

La temperatura de bulbo húmedo del aire deberá corregir se por la recirculación que se presenta.

La ecuación que correlaciona los empaques con las únida des de tranferencia es (66):

$$\frac{KaV}{L} = 0.07 + A'N\,(L/G)^{-n} \qquad \text{.....ec.(33)}$$

donde: K = Coeficiente total de transferencia de entalpía.(lb/hr ft^2de area de transferencia) - - - (lb H_2O/lb aire seco.)

a = Area interfacial efectiva para el contacto gas-líquido (ft^2/ft^3).

V = Volumen de la torre (ft^3/ft^2de area plana de terreno).

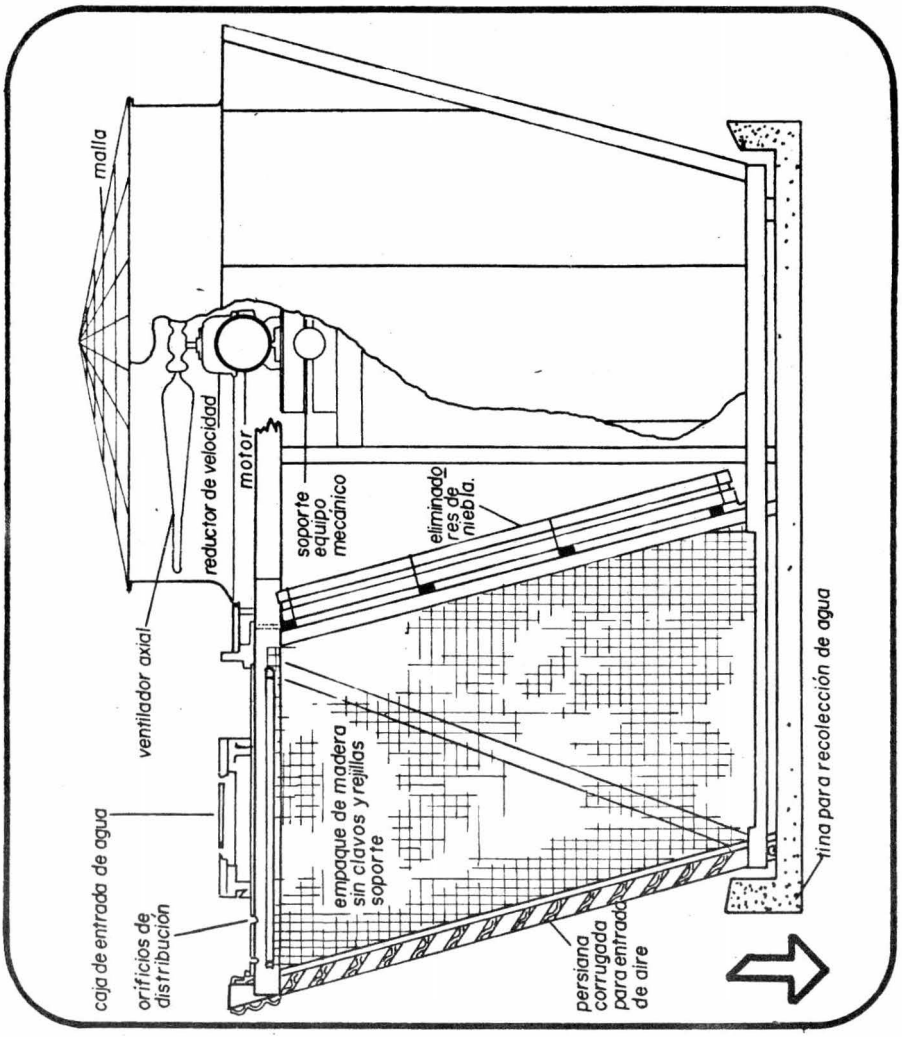


FIG. No.33 —— TORRE DE ENFRIAMIENTO PROPUESTA POR FABRICANTES. TIRO INDUCIDO, FLUJO CRUZADO

QUIMICO

L = Velocidad másica superficial del líquido (lb/hr ft^2 de sección plana de torre)

A'= Constante de la ecuación de operación de torres de enfriamiento.

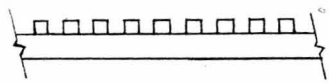
N = Número de unidades de transferencia.

G = Velocidad másica superficial de aire (lb/hr ft^2 de sección plana de torre.

n = Constante de la ecuación de operación de torres de enfriamiento.

Seleccionamos el empaque C que da el mayor $\frac{KaV}{L}$ con la menor -- caída de presión según datos mostrados en tablas por Kelly y -- Swenson.(66)

Figura 32. Empaque tipo C para torres de enfriamiento.



Espaciamiento vertical = 15 in.=38 cm.

Espaciamiento vertical entre las tiras de empaque = 15" =38 cms.

Valores de las constantes para el empaque seleccionado:

A' = 0.092

n = o.6 (Se consideran 12 unidades de transferencia -- para obtener una torre geométricamente proporcionada)

Para L/G = 1.0 .....KaV/L = 1.17 (sustituyendo en la ecuación - 33)

Para L/G = 2.0 .....KaV/L = 0.8 (substituyendo en la ecuación - 33)

Graficando estos puntos en la gráfica 9-73 B del Ludwig- (Figura 34)

Para un acercamiento de (95 - 68) 27°F leemos en la gráfica un L/G = 0.72 requerido.

La entalpía del aire de salida esta dada por la ecuación:

$$h_2 = h_1 + (L/G)\ (\ t_1 - t_2\ ) \quad \text{.....ec.(34)}$$

Entalpía del aire de entrada h_1 = 16.1 Kcal/Kg$_{as}$ = 29 BTU/lb a.s. (Carta psicométrica)

Sustituyendo :

L/G = 0.72

t_1 = 115°F

t_2 = 95°F

h_2 = 43.4 BTU/lb$_{aire\ seco}$=24.1 Kcal/kg.a.s.

Entalpía del aire de salida

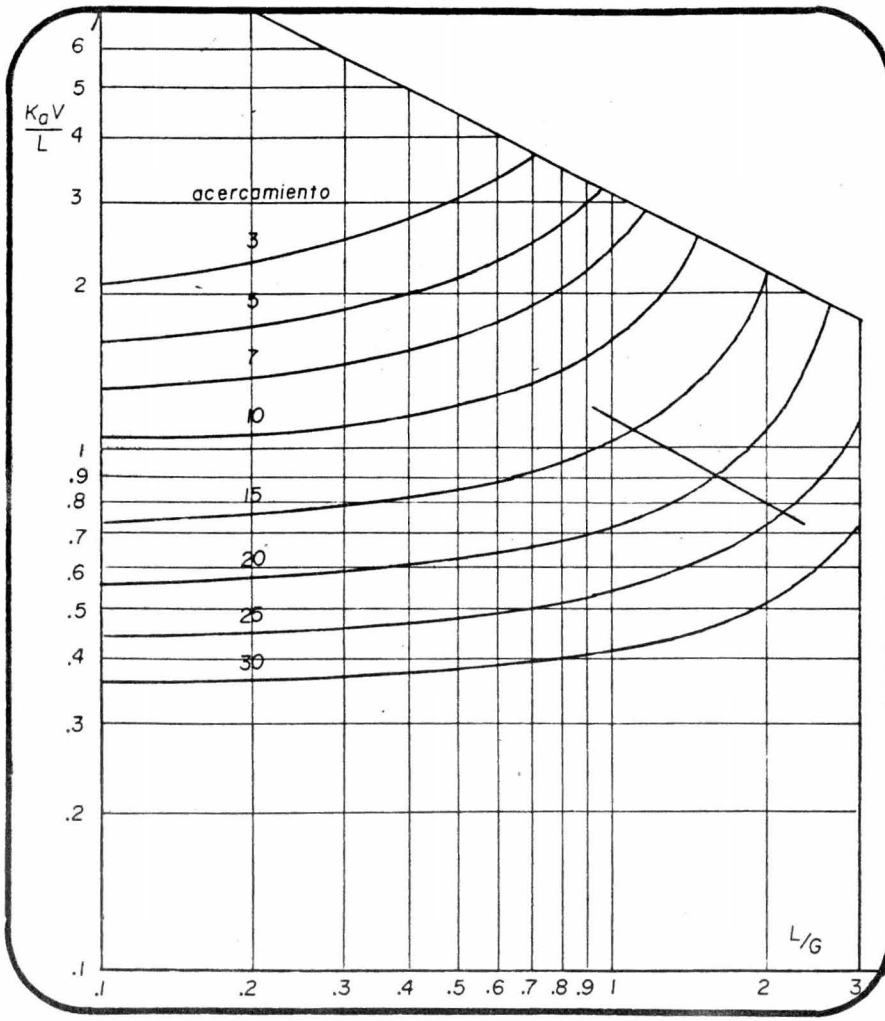


FIG. No. 34 —— GRAFICA QUE RELACIONA LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA CON LOS ACERCAMIENTOS Y LAS RELACIONES L/G PARA AIRE CON UNA TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO DE 70°F Y UNA DIFERENCIA DE 20°C.

Entalpia promedio de la mezcla de aire a la entrada de la torre:

$h_1 = 0.97\ (16.1) + 0.03\ (24.1) = 16.4$ kcal/$kg_{a.s.}$ = 29.5 BTU/$lb_{a.s.}$

Temperatura de bulbo húmedo correspondiente =20.6°C=69°F (carta psicométrica).

Volviendo a la figura 34, se ve que para un acercamiento de (95 - 69) 26°F corresponde un L/G = 0.74

Como el número de unidades de tranferencia es 12 y el - espaciamiento entre empaques (altura de la unidad de transferencia) es de 15" la altura del empaque será:

Altura del empaque = (12-1) (15/12) = 13.75 pies = 4.2m.

Interpolando, al considerar una línea recta la relación area de la torre-altura total del empaque (Pritchard (68) encontró que para una altura entre 12-40 pies, el flujo másico de aire por unidad de area económico varía entre 2000-1400 respectivamente):

X = (2000 - 1400) (40 - 13.75 / 40 - 12) = 562.5

Masa velosidad del gas económica (G) = 1400 + 562.5 = 1962.5 lb/h . ft^2 = 9600 Kg/h . m^2 de superficie.

Masa velocidad del líquido (L) = 0.74 x 1962.5 = 1452.25 lb/h ft^2 de superficie.

Gasto de agua = 23 l/seg = 182 230 lb/h . de agua = 7105 $kg/h\ .m^2$

Area requerida de torre = 182 230/1452.25 = 125.5 ft^2 =11.7 m^2

Sobrediseño del 15%, Area requerida = 13.4 m^2

Como las celdas de empaque vienen en dimensiones multiplos de 6-pies, la torre tendrá una base de 3.7X3.7 metros (12x12 pies)

Para esta area, L = 182 230/144 = 1265.5 lb/h . ft^2=6192 $kg/h.\ m^2$

G = 1265.5/0.74 = 1710 lb/h . ft^2 = 8367 $kg/h\ .m^2$

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN LA TORRE.

a) En el empaque (67):

$$\Delta P = NBG^2(0.0675/\rho_g) + NC\sqrt{S_F}LG_E(0.0675/\rho_g) \quad \text{.....ec.(35)}$$

Donde: Pg = Densidad promedio del aire = 0.0715 lb/ft^3= 0.00114 gr/cm^3

C = Cte. específica del empaque.

Sf = Caída libre vertical de la gota de agua (pies).

B = Cte. específica del empaque

G_e = Velocidad másica del aire, equivalente para la caída de presión.
Ge=4250 según figura 35 (Figura 9.67 Ludwig)

Para el empaque seleccionado (C) , el valor de las constantes es:

$B = 0.4 \times 10^{-8}$

$C = 0.14 \times 10^{-6}$

S_f= 3.75 pies.

Sustituyendo en la ecuación (35):

ΔP=0.2 pulgadas de agua = 0.51 cm de agua (Valor aceptable -- para este tipo de torres)

b) Caída de presión a la entrada:

Area de entrada total = (12 pies largo) (6 pies alto) (2 lados)= 144 pies ^{2} = 13.4m^2

Velocidad másica del aire = 1710 $^{lb}/_{h \cdot ft^2}$ (144 ft^2) = 246 240 $^{lb}/_h$ = 111 930 $^{kg}/_h$

Gasto de aire = $^{246\ 240}/_{60x007223}$ = 56 820 $^{ft^3}/_{min}$= 26820 $^{l}/_{seg.}$

a la entrada.

Velocidad del aire a la entrada = 56820 ft^3/min/144 ft^2=395 $^{ft}/_{min.}$ = 120.4 m/min.

Pritchard (68) encontró una relación entre las caídas -- de presión a la entrada y la velovidad del aire, para 400 $^{ft}/_{min}$, la caída de presión era 0.02 pulgadas de agua y a 1600 fpm le co rrespondían 0.32 pulgadas de agua. Interpolando:

X = (0.32-0.02) (1600-395/1600-400) = 0.3

ΔP = 0.32-0.3 = 0.02 pulgadas de agua 0.051 cm. de agua.

c) Caída de presión en los eliminadores de niebla:

Interpolando de la relación encontrada por Pritchard (68) en la cual para G =2000 $^{lb}/_{h \cdot ft^2}$ se tienen 0.07 pulgadas de - agua y para G = 800 lb/h . ft^2 se tienen 0.01 pulgadas de agua.

X=(0.07-0.01) (2000-1710/2000-800) = 0.015

ΔP= 0.07 - 0.015 = 0.055 pulgadas de agua
=0.14 cm de agua.

$\Delta P_{total} = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c$ =0.275 pulgadas de agua =0.7 cm.de agua

Potencia estimada del ventilador:

bHP = F P_s/ (6356) (0.5) .....ec.(36)

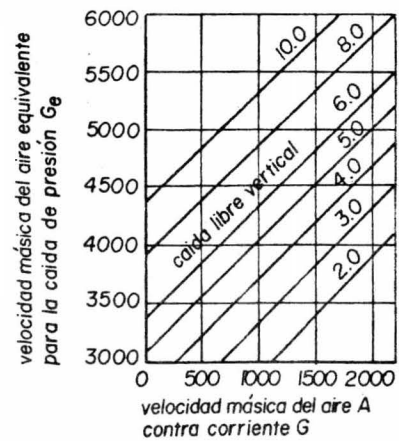


FIG. No.35 —— VALORES DE VELOCIDAD MASICA DEL AIRE EQUIVALENTES PARA LA CAIDA DE PRESION

Donde: F = CFM a la entrada

P_s= Presión estática total en pulgadas de agua (ΔP)

Sustituyendo: bHp = 5 Hp

EVALUACION ECONOMICA DE LOS DOS SISTEMAS PROPUESTOS

Para poder hacer una evaluación correcta, es necesario tener los costos de energía eléctrica.

TORRE. El costo de la energía eléctrica en la torre dependerá de la altura y donde haya que bombear el agua; para ello hay que encontrar el nivel de succión y el nivel de descarga de la bomba.

Del plano mostrado en el anexo III se ve como el agua sale de la planta en el nivel 2.5. El agua baja por gravedad a la tina de neutralización.

a) Pérdida de carga de la salida del proceso a la tina de neutralización.

Longitud de tubo, de la salida de la planta a la tina de neutralización = 60m aprox.

Velocidad recomendada $1.5^{m}/seg$ (69)

Area de tubo = 23 dm^3/seg / 15 dm/seg = 1.53 dm^2

$D = \sqrt{4A/\pi}$ = 1.4 dm = 5.5 in

D seleccionado = 6"

D interno = 6.065" = 1.54 dm (70)

A_{real} = 1.86 dm^2

Vreal = 1.23 $^{m}/seg$.

Pérdidas por fricción según la ecuación de Hazen y Williams:

$$h_f = 3.03 \frac{L}{D^{1.17}} (V/C_H)^{1.85} \qquad \text{.....ec.(37)}$$

Donde: L = Longitud de tubo (ft)

D = Diámetro de tubo (ft)

V = Velocidad del fluído ($^{ft}/min$)

C_H= Coeficiente de Hazen-Williams dependiente del material. Puede corregirse para fluidos con sólidos =100 (Tubo de acero) (71)

Sustituyendo en la ecuación (37):

h_f = 3.5 ft = 1.06 m

Con un 10% de sobrediseño h_f = 1.2 m

b) Pérdida de carga con la tina de neutralización =0.7m (Estimada)

c) Pérdida de carga de la tina de neutralización al sedimentador:

Longirud de tubo = 30m (aprox)

Pérdidas por fricción según ecuación Hazen-Williams,- considerando que el agua fluye por gravedad a la misma velocidad y por el mismo tipo de tubo al caso (a):

Substituyendo en ec.(37):hf = 0.54m.

Con 10% sobrediseño ..... hf = 0.6m

d) Pérdida de carga en el sedimentador:

ΔP = 0.1m (Estimada)

A la salida del sedimentador el agua pasará también por gravedad, a una cisterna de agua para amortiguar las posibles variaciones de flujo presentes en la planta. Su capacidad de almacenamiento será de 2.5 hrs. de tal forma que la bomba no tenga - la necesidad de parar y arrancar constantemente, sino aproximadamente cada 3-6 hs. según el flujo de agua saliente del proceso. Se dejará además un espacio arriba del nivel donde arranca - la bomba (la cual manejará un gasto de 23 l/seg. cuando la caveza de succión es mínima) para cuando el gasto de agua es mayor a 23 l/seg, cosa que no sucede mas de 30 seg. según experiencias en la planta.

Qmax = 30.5 l/seg. (Según Tabla III)

Volumen de la cisterna = 23 l/seg x 3600 seg/h x 2.5 h x 10^{-3} m^3/l + (30.5-23) l/seg x 30 seg x 10^{-3} m^3/l = 210 m^3

Se fija una profundidad de la cisterna de 4m para evitar bombear demasiado el agua.

Area de la cisterna = 210/4 = 52.5 m^2

Con 10% sobrediseño, Area= 58 m2.

Para que la succión de la bomba no se quede nunca sin- agua se deja un cárcamo de 0.3 m de profundidad.

Dimensiones cisterna = Area Plana = 58 m^2

Alto = 4.3 m

.'. El Nivel de succión de la bomba, aproximado, será:

Nivel succión= 2.5 - 1.2 - 0.7 - 0.6 - 0.1 -4.3=

- 4.4m

Cabeza total de la bomba:

Cabeza dinámica:

Vrecomendada = 1.5 m/seg (69)

Descogido = 6"

Vreal = 1.23 m/seg

Ltubo = 7m aprox

Accesorios:

	L/D
Válvula check	135
Válvula de compuerta	13
4 codos de 90°	4(30)
	268

Laccesorios = 268 x 0.5 ft x 0.3048 $\frac{m}{ft}$

Ltotal de tubo = 50m = 164 ft

ΔP/100 ft= 0.29m de agua (72)

ΔPtotal = 0.29 = 0.475 m de agua, con 10% sobredise(ño

ΔP=0.53 m de agua.

Cabeza estática:

Nivel de descarga = Nivel del piso + Altura torre.

Nivel piso = 0.0

Altura torre. Se pidio una cotización verbal a Industrial Mexicana, S.A., y recomendó , para los datos pro-- puestos, dos torres en paralelo de flujocruzado, modelo V-125, - cuyas dimensiones son:

Largo = 198"

Ancho = 84"

Alto = 85" (2.2m)

.'. Altura torre = 2.2m

Nivel de descarga = 2.2m

Nivel de succión = - 4.4m

Cabeza estática = 6.6m

Potencia de la bomba:

$$bHP = \frac{Q\ H\ Sg}{76.16\ \eta} \quad \text{.....ec.(38)}$$

Donde: Q = Gasto (l/seg) = 23 $^{l}/_{seg.}$

H = Cabeza de la bomba (m)= 6.6 + 0.53 = 7.13m de agua

Sg= Densidad relativa = 1

η = Eficiencia de la bomba= 0.7

Sustituyendo:

bHp_{real}=3.1 Esto es pues la bomba no trabaja constantemente. Si consideramos que trabajara contínuamente, el gasto manejado sería el promedio, 16.8 $^{l}/_{seg.}$ que es el que se debe usar para sacar el costo real de la energía eléctrica.

Sustituyendo la ec (38):

$bHp_{continuo}$ = 2.3 Hp durante 261 dias (semana inglesa)

FUENTES.

Las pérdidas por fracción hasta los racionadores son aproximadamente las mismas a la de la torre = 0.5m de agua.

Pérdidas por fricción en los rociadores = 79.6 ft = 24.3m de agua

Pérdidas por fricción en el tubo = 4.752 ft = 1.5m de agua

(Encontrados en la parte en donde se calcula el tubo de los rociadores.)

Cabeza total = Cabeza dinámica + Cabeza estática por diferencia de alturas + Cabeza estática por diferencia de presiones

Cabeza dinámica = 0.53 + 24.3 + 1.5 = 26.33m de agua

Cabeza estática por diferencia de alturas = 4.3m (El tubo de rociadores está en el nivel 0.0.

Cabeza estática por diferencia de presiones= $\frac{(P_2-P_1)\rho}{144} \times 0.3048$

= 1.3 m de agua

dado que: (P_2-P_1) = 10 psi

ρ = 62.4 lb/ft^3

Sustituyendo:

Cabeza total = 31.93m de agua.

Para el costo de la energía eléctrica se considera el gasto promedio de 16.8 l/seg. durante 261 dias.

Sustituyendo en ec.(38):

bHp = 10.1 Hp.
contínuo

Costos:

TORRE.

Costo del equipo = 114,400^{00} (Proporcionado por proveedores)

Costo de la tina incluido en el equipo.

Costo energía eléctrica (10 Hp por los ventiladores, 2.3 Hp por bomba)

$$\text{Costo}_{\text{e.e.}} = 12.3\ \text{Hp} \times 0.7457 \frac{\text{kw}}{\text{Hp}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dias}} \times 261 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \times 0.23 \frac{\$}{\text{kwh}}$$

$\text{Costo}_{\text{e.e.}}$ = 13 200^{00}\$/año

Costo mantenimiento = 0. 15x114,400=17,160^{00} \$/año. (15% anual del costo inicial)

Costo instalación = \$17 160^{00} (15% costo inicial)

FUENTE.

Costo equipo = \$10 000^{00} (Los rociadores puede hacerlos un tornero)

Costo tina = \$148 400^{00} (Considerando paredes de 15 cm de espesor se tiene un volumen de concreto de 70 m^3)

Costo energía eléctrica = 10.1 Hp x 0.7457x24 x 261xo.23= 10850^{00}\$/año.

Costo mantenimiento = o.2 x 10 000 = 2000^{00}\$/año (20% del costo inicial)

Costo instalación = \$2000^{00}(20% costo inicial)

Costo por excavar = \$20 000^{00}(Volumen de tierra, 240m^3)

EVALUACION POR EL METODO DE VALOR PRESENTE

Metodo mostrado por Schweyer (73).

Este método equivale a poner una cantidad de dinero en el Banco inicialmente, de donde saldrán todos los gastos necesarios.

Considereciones: a) El equipo se desprecia en 8 años.
b) La obra civil se deprecia en 24 años.
c) El dinero tiene un interés anual del 10%.
d) No existe ningun costo de salvamento.

$$P = S \Big/ (1 + i)^n \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ec(39)}$$

$$P = R \frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ec(40}$$

Donde: P = Suma a valor presente del dinero.
S = Suma de dinero n años en el futuro.
i = Interés anual
R = Pago efectuado al final de un período.

Tabla X (A) Cantidad a pagar. (B) Pagos a valor presente.

A	CONCEPTO	FUENTE	TORRE
	Pagos anuales	$ 12 850 oo	$ 30 360 oo
	Pagos cada 8 años	$ 12 000 oo	$ 131 560 oo
	Pagos cada 24 años	$168 400 oo	-

B	CONCEPTO	FUENTE	TORRE
	Por pagos anuales durante 24 años (aplicando ecuación 40)	$115 460 oo	$272 790.oo
	Por pagos cada 8 años 1er pago	$ 12 000 oo	$131 560 oo
	(aplicando ecuación 39) 2o pago	$ 5 555 oo	$ 60 910 oo
	3er pago	$ 2 555 oo	$ 27 990 oo
	Por pagos cada 24 años	$ 168400 oo	-
	PRECIO TOTAL A VALOR PRESENTE	$303 970 oo	$493 250 oo

Se selecciona la fuente con rociadores por ser la -- alternativa mas económica, además de cumplir con fines de ornato.

TRATAMIENTO DE LODOS

Por lodos se entiende los materiales de desecho extraídos en forma de suspensión acuosa por la parte inferior de los sedimentadores en una planta de tratamiento de agua.

Dichos lodos deben ser tratados antes de su disposición final, estabilizandolos en su contenido orgánico y reduciendo al mínimo su humedad para facilitar su manejo.

Teniendo en cuenta estos objetivos básicos, para la disposición adecuada de los lodos residuales, se han ideado una serie de procesos de tratamiento que pueden resumirse en las operaciones básicas siguientes:

- Concentración
- Digestión
- Acondicionamiento
- Deshidratación y secado
- Incineración y oxidación húmeda
- Disposición final

Las operaciones mencionadas pueden constituir en si una sola secuencia de tratamiento, o bien pueden alternarse de acuerdo a las necesidades específicas de los lodos a tratar.

1. Concentración. La concentración de los lodos tiene por objeto reducir su volumen a una cuarta parte de su volumen original (74), disminuyendo los costos del tratamiento posterior. La concentración de los lodos puede lograrse por espesamiento mecánico o por flotación.

a) Espesamiento mecánico. Esta operación se lleva a cabo en tanques equipados con paletas verticales de movimiento suave. Los lodos pasan continuamente del sedimentador al espesador, acumulándose en el fondo al depositarse (resedimentación). Son removidos posteriormente para completar su tratamiento ya sea en forma contínua o intermitente.

b) Flotación. Se logra mediante finas burbujas de aire introducidas en el seno de los lodos. Las burbujas se adhieren a las partículas sólidas incrementando su capacidad de flotación, facilitando así su ascensión a la superficie de donde son removidas. Los principios que rigen el espesamiento mecánico (precipitación

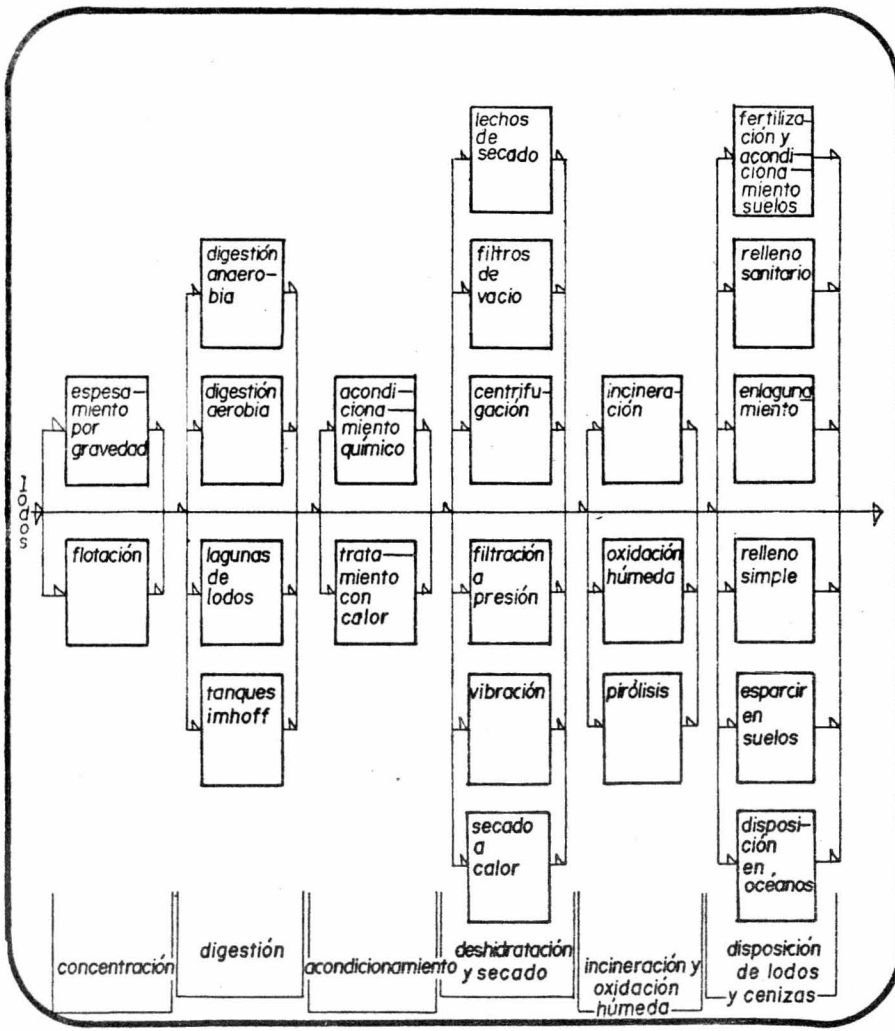


FIG. No.36——DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS RESIDUALES

por gravedad) son también aplicables a la flotación. La efectividad del proceso depende de la capacidad de los sólidos de aglomerarse con las burbujas de aire y poder así llegar a la superficie. Para tanques de flotación se utilizan comunmente cargas superficiales de 1-4 GPM/ft^2 y tiempos de retención de 30 min.(75)

2. Digestión. La digestión permite una disminución en el volumen de los lodos así como la descomposición de la materia orgánica-- hasta formar compuestos orgánicos o inorgánicos estables. Reduce también la cantidad de coliformes presentes en un 99.8% (76) y - facilita el secado posterior de los lodos. Puede llevarse a cabo aerobia o anaeróbicamente en tanques, en lagunas de oxidación (solamente en sitios donde las condiciones del suelo, clima y -- disposición geográfica del terreno sean adecuadas) , en fosas -- sépticas y en tanques Imhoff (recomendable solo en pequeñas comunidades).

a) Digestión anaerobia. Es un proceso biológico desarrollado en ausencia de oxígeno disuelto. Emplea organismos vivos para la degradación de la materia orgánica por lo que necesita mantenerse - un ambiente adecuado para facilitar la reproducción de los mi -- croorganismos y permitir la asimilación de las sustancias que - permiten su desarrollo. Temperaturas de 80-100°F son adecuadas - (77). Los organismos vivos rompen la estructura molecular de las substancias orgánicas, liberando agua y obteniendo oxígeno y alimento para su desarrollo.

Este método es aplicable para lodos con mas de 1000 ppm de BOD (77).

El proceso se efectúa en tres etapas. En la primera los microorganizmos atacan los sólidos solubles o disueltos formando ácidos orgánicos y gases(anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico). En la segunda atacan los ácidos orgánicos ya formados y los compuestos nitrogenados presentes, aumentando el pH. En la tercera - parte son atacados los compuestos nitrogenados mas resistentes,- como por ejemplo las proteinas y los aminoácidos, aumentando el-- pH y produciendose gases inflamables (metano, hidrógeno, nitrógeno, bióxido de carbono y un poco de ácido sulfhídrico). El gas -- producido puede emplearse para generar calor o energía dentro de- la misma planta por tener un elevado poder calorífico.

b) Digestión aerobia. Aquí, la degradación de la materia orgánica la efectuan microorganismos aerobios y facultativos en presencia de oxígeno disuelto, manteniendo en los tanques por difusión o mezclado. Sus propiedades son similares a las de la digestión anaerobia en lo que toca al producto obtenido, pero los problemas de operación son menores. Tienen el inconveniente de no poder recuperar el metano y de tener que suministrar oxígeno al tanque. No requiere de calentamiento.

c) Lagunas de oxidación. Son áreas excavadas para depositar los lodos crudos o semidigeridos para lograr su completa digestión y su secado. En plantas pequeñas que cuentan con terreno disponible esta es la solución mas económica para la disposición de los lodos. Tampoco permiten la recuperación del metano y no requieren de una continua remoción del lodo digerido. Al llenarse una laguna, se rellena otra mientras se logra la digestión y el secado de la primera. Al final del proceso los lodos secos son removidos mecánicamente. Desprenden olores nauseabundos.

d) Tanques Imhoff. Sirven como digestores y sedimentadores al mismo tiempo. Estan diseñados para almacenar lodos hasta por seis meses, siendo útiles solo en pequeñas comunidades. El lodo se digiere anaeróbicamente, saliendo el gas producido por unas ventanas laterales sin mezclarse con el agua presente en el compartimiento de sedimentación. Puede recuperarse el gas pero no es conveniente por su bajo poder calorífico. Los lodos son extraídos hidráulicamente y su estabilidad es menor a la de los lodos digeridos. El proceso es sencillo y solo requiere pocos cuidados de operación y mantenimiento.

3. Acondicionamiento. Tiene por objeto mejorar las características de los lodos para su deshidratación. Antes de acondicionarse, los lodos pueden elutriarse para disminuir la demanda de químicos gracias a la separación de los compuestos amínicos o amoniacales presentes.

La elutriación consiste en el lavado de los lodos (mezclado con agua y resedimentación). El proceso se efectua de tal forma que el agua de lavado en el primero se emplee posteriormente en el segundo y viceversa. El volumen de agua requerido es el doble o triple del volumen de lodos elutriados (78). El proceso-

puede ser continuo o intermitente. El continuo permite mayor --- flexibilidad en la operación y facilmente puede operarse en etapas, pero requiere de mas equipo. El intermitente permite un mejor control.

a) Acondicionamiento químico. Este proceso busca la coagula -- ción de los sólidos, liberándose el agua absorvida, mediante productos químicos (cloruro férrico, cal alúmbre, ácido sulfúrico, - sulfato ferroso y polímeros orgánicos, llamados polielectrolitos). Es conveniente variar en algunos casos el pH de la suspensión para facilitar la coagulación de partículas pequeñas. La dosifica - ción óptima de los químicos necesita obtenerse experimentalmente mediante pruebas de laboratorio. Dosificaciones comunes de los - químicos mas empleados en el espesamiento son (79):

2% cloruro férrico y 10% cal para lodos crudos.
4% " y 8% " para lodos digeridos.
2% " y 4% " para lodos digeridos y elutriados.

b) Tratamiento por calor, Los lodos son calentados por cortos- períodos de tiempo, a presión, con el objeto de coagular los sólidos y romper las estructuras gelatinosas. Por éste proceso la- filtración de los lodos es acelerada en un factor de 200 en lo -- dos primarios y de 1000 en lodos secundarios (80). Los lodos se- calientan a temperaturas de 300-400°F bajopresiones de 150-200 - psi y puede inyectarseles aire para la oxidación requerida.

Otros métodos de acondicionamiento son la congelación-- y la irradiación pero aun estan en etapa de investigación.

4. Deshidratación. Su objetivo consiste en reducir el volumen -- de los lodos para facilitar su manejo y disminuir los costos del secado posterior.

a) Lechos de secado. Son lechos de arena que ocupan grandes -- extensiones de terreno y pueden reducir el contenido de humedad- a un 70% (81). Es conveniente disponer de varios lechos peque -- ños para tener flexibilidad de operación. Pueden ser cubiertos o descubiertos dependiendo de las condiciones climatológicas de - lugar donde se instalarán.

Los lodos se secan inicialmente por drenaje y posteriormente por evaporación. El agua de las capas inferiores, se evapora al formarse grietas en las capas superiores ya secas. Es - recomendable espesar los lodos para disminuir el área requeri -

da por los lechos. El espesor del manto de lodos no debe exceder los 20-30 cm. para facilitar el secado. Debe reponerse continuamente la arena perdida, al remover los lodos del lecho. La duración del proceso varía de 10 dias a varias semanas según las - - condiciones climatológicas del lugar. (81).

b) Filtros de vacio. Es el método mecánico mas empleado; ocupa poco espacio y consigue disminuir la humedad a un 60-70% (82). - Es conveniente concentrar y acondicionar los lodos previamente - para obtener una mejor deshidratación en los filtros de vacio.

Constan de un tambor sobre el cual descansa el medio -- filtrante (tela de algodón, lana, nylon, vinyon, orlon, dacrón, fibra de vidrio, etc...) el cual debe ser resistente a los pro - ductos químicos contenidos por el agua y debe también provocar - una pérdida de carga mínima. El tambor se monta en un eje hori - zontal, apoyado en un tanque, de tal forma que el 20-40% de la- superficie del tambor quede sumergida en el lodo (83). Se aplica vacio al medio filtrante, girando lentamente el tambor al mismo- tiempo. El lodo adherido a la tela es succionado cuando el tam - bor sale del medio acuoso, separándose el agua que penetra al -- tambor y permaneciendo los sólidos adheridos como una torta com- pacta, la cual es raspada por una cuchilla antes de introducir - nuevamente el lodo deshidratado en el licor. La velocidad de se- cado varía según el tipo de lodos y debe determinarse experimen- talmente. Valores de 2.5 a 12 lb de sólidos secos/ ft^2-h pueden obtenerse (84).

c) Centrifugación. Este proceso ha sido usado poco para el tra tamiento de los lodos. Requieren menos area que los filtros de - vacio y su operación es mas sencilla. No requieren normalmente-- de condicionamiento químico previo y su costo inicial es menor- al de los filtros. El contenido de humedad del lodo obtenido es- de 75-80% para lodos de aguas negras y de 60-85% para lodos indus triales. La principal dificultad que presentan consiste en la -- gran cantidad de sólidos suspendidos, no sedimentables. presen - tes en el agua recuperada, siendo necesario un tratamiento com - pleto para su disposición (mezcla rápida, floculación y sedimen tación).

La deshidratación se realiza en dos etapas, en la prime

ra se separan los sólidos del agua y en la segunda, los sólidos son transportados por un tornillo sin fin hasta una sección cónica por donde salen de la centrífuga.

El equipo requiera poco mantenimiento y mucho cuidado en su operación, principalmente el motor eléctrico. La capacidad de las centrifugas varía de 14 a 71 Kg de sólidos secos/ hr según la naturaleza de los lodos tratados (85).

d) Filtros prensa. Requiere del espesamiento y acondicionamiento químico previo. Se lleva a cabo en una serie de platos rectangulares, verticales, cuyas caras se encuentran cubiertas por una tela filtrante sostenida en una lámina u hoja acanalada. El lodo acondicionado es bombeado dentro del espacio entre los platos y se le aplica presión (3.5-8.4 Kg/cm^2) durante 10-30 min. (85). La torta de lodo se separa después de aflojar la prensa. El líquido filtrado debe retornarse al tratamiento, teniendo los mismos problemas que la centrifuga. La operación de este equipo es sumamente complicada y el proceso es intermitente (llenado de la prensa, prensado, lavado, retiro de la torta y cerrado de la prensa). El mantenimiento es complicado en lo que se refiere a la conservación y remplazo de la tela filtrante. El lodo obtenido tiene humedades del 50-70%.

e) Vibración. La deshidratación se realiza tamizando los lodos por vibración mecánica o sónica. El lodo obtenido tiene una humedad del 60-65%. La eficiencia del proceso depende del material filtrado.

5. Secado. Para reducir la humedad de los lodos a un 10% no basta con la deshidratación, siendo necesario un secado por calentamiento. Las unidades generalmente empleadaa son las siguientes:

a) Horno secador rotatorio. Consta de un cilindro que gira sobre un eje inclinado. Los lodos deshidratados entran por un lado y son acarreados por gravedad al extremo opuesto, mezclándose gracias a los deflectores helicoidales colocados en la pared del cilindro. A contracorriente pasan los gases calientes que toman la humedad de los lados. Estos hornos se utilizan principalmente para secar lodos provenientes de los filtros de vacio. La temperatura media de secado no debe exceder los 650-700°F (86). Los gases que salen del cilindro contienen partículas finas de sóli-

dos que deben ser eliminadas antes de descargarse a la atmosfe - ra ya sea por ciclones o por lavadores húmedos de gases. Para -- evitar el mal olor de los gases, éstos deben ser previamente incinerados.

b) Secador instantaneo. Los lodos húmedos se mezclan en este -- secador antes de entrar a un molino donde las partículas se secan casi instantáneamente a medida que se dispersan y mantienen en - suspensión en una corriente de gases calientes. Posteriormente,-- los sólidos pasan a un separador en donde se desprenden los ga - ses húmedos de los lodos secos.

c) Secador por aspersión. El lodo húmedo se pulveriza, en go - tas de aproximádamente 25 micras (87) sobre una torre por la que pasa una corriente de gas caliente. El agua separada de las partículas atomizadas se desprende con los gases calientes, mientras- que los sólidos secos se depositan en la base de la torre. El -- polvo arrastrado por los gases se recoge posteriormente en un ciclón.

d) Horno de hogar múltiple. Es un secador-incinerador de lodos, consistente en un cilindro vertical forrado de un material re -- fractario que contiene cuatro o mas hogares, uno encima del otro. Los lodos deshidratados se alimentan a la cámara superior y son - secados parcialmente por los gases que ascienden de los hogares- inferiores. Estos lodos semi-secos son bajados a las cámaras inferiores por cepillos rotatorios, secandose aun mas hasta alcanzar la concentración necesaria para entrar en ignición y así poder consumirse, produciendo gases que al subir secarán a su vez- nuevos lodos. La combustión se efectúa en los hogares interme -- dios al alcanzar temperaturas de 1400-1700°F (87). La capacidad - de estos hornos varía entre 50-750 lb/h , pero pueden llegar a - obtenerse capacidades de 2000 lb/h o más (88).

6. Incineración. Se emplea para reducir el contenido orgánico - de los desechos al mismo tiempo que su volumen. Convierte los - lodos en cenizas inertes cuya disposición final es sencilla. -- Los lodos alimentados no deben tener humedades mayores al 70% - aproximadamente (89). Elproceso puede desarrollarse sin necesidad de algún combustible adicional, sobre todo si se incineran- lodos crudos de elevado poder calorífico.

a) Incineradores instantaneos. Son diseñados para quemar lodos secos. El calor de combustión generado es empleado por los secadores del tratamiento previo. La incineración ocurre a temperaturas de 550-650°C (90) para evitar olores molestos. Uno de los principales problemas que presentan es la dificil operación debida a la variación de la humedad y de la cantidad de lodos a manejar.

b) Incineradores de hogar múltiple. Ya mencionados.

7. Oxidación húmeda. Este proceso provoca la combustión de la materia orgánica en ausencia de flama y en presencia de agua. Esto se logra trabajando a condiciones de presión y temperatura a las cuales no hierve el agua. (400-650°F y 1200-1800 psig (87))- Como las cenizas permanecen en el agua, presentan el problema de como separarlas.

En el proceso,los lodos se desmenuzan al ser forzados a pasar por pequeños orificios. Posteriormente se precalientan en un tanque mezclador y se alimentan, mediante bombas, a una tubería a donde se introduce al mismo tiempo aire. La mezcla caliente pasa por intercambiadores de calor para elevar su temperatura antes de entrar a un reactor vertical de flujo ascendente en donde el oxígeno del aire se combina con la materia orgánica, oxidándola hasta convertirla en cenizas y generando calor para el precalentamiento de los gases en el intercambiador, donde ceden la mayor parte de su energía a los lodos entrantes. Existe un nuevo proceso de oxidación húmeda a bajas temperaturas y presiones, patentado, del orden de 300-400°F y 600 psig (88).-

8. Pirólisis. Los lodos se hornean en una cámara a temperaturas de 3000°F (91). El proceso tiene la ventaja de no provocar problemas de contaminación por polvos. La reducción de volumen alcanzada es mayor a la de la incineración común, pero su costo es superior. Actualmente existen sistemas pirolíticos capaces de tratar 100 ton/semana de sólidos secos y existe un proyecto de una planta con capacidad 10 veces superior para la ciudad de New York.

9. Disposición final de los lodos. Los lodos y cenizas obtenidas en los procesos anteriores pueden distribuirse en el agua o en la tierra para su disposición final.

La disposición en corrientes superficiales de agua está muy sancionada en la actualidad. En algunas ciudades, los lodos- son bombeados a lanchones que los conducen a aguas profundas, -- distantes de la costa. Los sitios donde se arrojan los desechos- deben reglamentarse de tal forma que sea imposible el retorno -- de los mismos a las costas y no afecten, además, la vida acuática del lugar. Ya no puede pensarse en losmares como basureros gigantescos, capaces de absorver todos los desperdicios sin correr el peligo de contaminarse.

La disposición en tierra es el método comunmente empleado y está en función de la reglamentación local. Las diferentes- formas de disposición de desperdicios en la tierra que existen - son:

a) Entierro sanitario. En caso de contener los lodos substancias tóxicas, este método solo podrá emplearse cuando se garantice la no existencia de posibles infiltraciones a corrientes subterráneas, superficiales o tierras de cultivo y cuando el terreno utilizado no será empleado para algún otro fin, ya que las -- zanjas pueden permaneces húmedas y mal olientes por años. Cuando los lodos son básicamente inertes o son biodegradables por mi -- croorganizmos a compuestos no dañinos, el entierro sanitario es- la mejor solución si se dispone de terreno.

La técnica seguida es muy sencilla y consiste en esparcir y compactar los lodos en secciones de terreno y cubrirlos -- todos los dias con una capa de tierra. Uno de los principales -- problemas que presentan es la formación de gases combustibles,-- pero puede solucionarse cubriéndolos con una capa de tierra lo-- suficientemente gruesa, 30 cm. (92) y colocar venteos cada - -- cierta distancia. Otro problema lo constituye el agua escurrida- de los lodos si contiene substancias tóxicas. Una compañía americana ha patentado un sistema para cubrir completamente el área -- a rellenar mediante una membrana impermeable (91).

En algunos casos, un terreno que ya ha sido usado, puede reemplasarse con el mismo fin, si después de un período de -- año y medio a dos años de haberse cubierto el lodo con tierra. se labra y siembra y después de recogida la cosecha, se labra de -- nuevo y se deja sin cultivar un año mas. En estas condiciones, -

la capacidad del terreno es de 1250 ton/año de lodos húmedos por hectárea (92).

b) Relleno. Los lodos también pueden descargarse en minas abandonadas u otro espacio disponible siempre y cuando hayan sido estabilizados a un grado tal que no ocurra una descomposición posterior.

c) Disposición en lagunas. Al depositar el lodo crudo en una laguna podemos obtener simultaneamente su estabilización y una reducción de su volumen. El agua sobrenadante obtenida al sedimentarse los sólidos es regresada al influente de la planta de tratamiento, dejando capacidad suficiente para recibir nuevos volumenes de lodo.

Las lagunas deberán situarse en lugares alejados de zonas habitadas debido a los malos olores generados al descomponerse anaeróbicamente la materia orgánica.

d) Fertilizantes o acondicionadores de suelos. Un lodo digerido, estable y húmedo puede regarse en un campo de cultivo y ararse una vez seco. El humus que contiene sirve como acondicionador del suelo, aumentando su capacidad de retención del agua, además de proporcionar alimento a los vegetales.

Aparte del humus, los lodos pueden contener nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y si su contenido no es muy abundante, pueden servir como carga a otros fertilizantes.

En la mayoría de los casos la cantidad de sólidos que puede disponerse en la tierra es de 10 ton/año de sólidos secos (93). En general el empleo de los lodos en tierras de cultivo deberá estudiarse mas a fondo con el fin de determinar si son o no positivos para la tierra y los cultivos, así como el perligro que entraña a la salud la existencia de bacterias en los lodos de desecho.

Tomando en cuenta el aspecto económico, el tratar los lodos para transformarlos en fertilizantes estará en función del mercado existente, considerándose además que para constituir un buen abono, deben complementarse con nutrientes en los que sean deficientes.

SOLUCION PROPUESTA

Para el caso estudiado en la presente tesis se cuenta con grandes extensiones de terreno disponible dentro de los límites de la planta, asi como con un clima caluroso y seco la mayor parte del año, por lo tanto para la deshidratación de los lodos, la solución mas económica la constituyen los lechos de secado.

Como éstos serán colocados en un punto inmediato al sedimentador (ver arreglo general de la planta , ANEXO III) no será necesario espesar previamente los lodos. El pequeño incremento de los costos de bombeo por manejar un mayor volumen de lodos está compensado por el elevado costo inicial del espesador, además de los costos de operación que presenta.

El tamaño de partícula de los sólidos es bastante grande, no siendo necesario por lo tanto acondicionar químicamente los lodos para su deshidratación, así como no fué necesario tratarlos para su sedimentación.

La disposición final se hará esparciendo los lodos secos directamente en un terreno baldío situado al noroeste de la planta, no siendo necesario la incineración u oxidación de los lodos al haber suficiente terreno disponible. Esto es posible gracias a la lenta degradación del barbasco agotado (no se desprenden malos olores), cosa comprobada en la misma planta , en donde actualmente disponen del barbasco agotado extraido de los filtros prensa (parte del proceso para la producción de la diosgenina) en montículos formados en el terreno aledaño a la planta. En un futuro podrá pensarse en incinerar los sólidos para reducir aun mas su volumen y emplearlos como fertilizantes o ayuda fertilizantes.

Como se ha visto que el barbasco agotado se incendia facilmente, es conveniente aplanar los montículos y cubrirlos con una capa de tierra lo suficientemente gruesa.

El transporte de los lodos deshidratados, en forma de torta, de los lechos de secado al terreno baldío mencionado se hará mediante un camión y no por bombeo debido a la elevada concentración de sólidos presentes, lo que implica grandes perdidas por fricción y por lo tanto altos consumos de energía eléctrica.

Al no habérsele añadido substancias químicas a los lodos para su acondicionamiento, no existirá ningún peligro de con

taminación de los suelos.

Para evitar la existencia de malos olores, es conveniente separar el drenaje sanitario de la planta y mandarlo directamente a la red de drenaje municipal.

CALCULO DE LOS LECHOS DE SECADO.

En el sedimentador se obtendrá un promedio de 140 mg/l de sólidos según datos presentados en la tabla V.

Gasto promedio = 16.8 l/seg

Sólidos eliminados = 140 mg/l x 16.8 l/seg x 10^{-5} mg/Kg = 2.35 gr/seg.

Espesor de la capa de lodos recomendado = 15-30 cm. (94,95,96)

Espesor seleccionado = 20 cm (Espesores pequeños faborecen la deshidratación).

Período de secado recomendado = 2-8 semanas (94,95,96).

Período de secado seleccionado = 4 semanas (el clima de la ciudad de Cuernavaca se puede considerar benigno).

Los lechos no estarán cubiertos para prevenirlos de la lluvia.

Volumen de lodos, considerando una concentración promedio de sólidos del 10% durante la etapa de llenado del lecho:

V = 2.35 gr/seg x 100/10 x 3600 seg/hr x 24 hr/dia x 5 dias/semana x 4 semanas x 1 cm^3/1.05 gr x 10^{-6} m^3/cm^3 = 38.7 m^3

Area necesaria = 38.7 m^3/0.2 m = 194 m^2

con 10% sobrediseño, Area = 315 m^2

Para tener flexibilidad de operación deben tenerse varios lechos. Para permitir el desarrollo de todo el ciclo (llenado, secado, eliminación de la torta y reposo del lecho) deberá disponerse de 3 lechos mas de los necesarios.

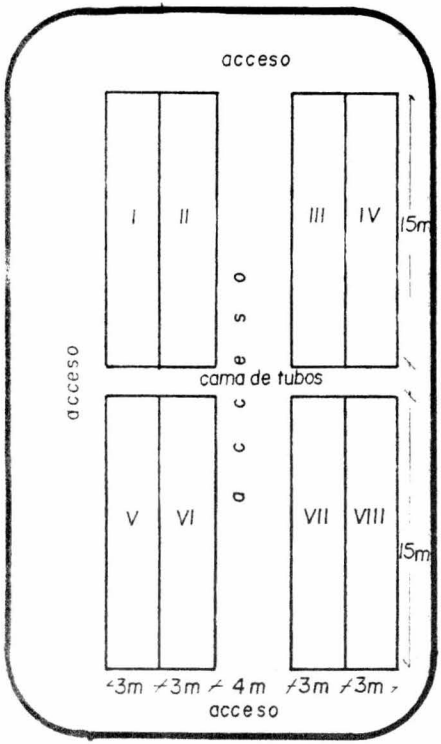
Pensando en 5 lechos:

Area/lecho = 215/5 = 43 m^2

Ancho del lecho = 3 (fijado para facilitar el levantamiento de la torta que se hará manualmente con palas).

Largo del lecho = 15 m (15 x 3 = 45 m^2)

Número total de lechos de secado = 8 (tres mas de los necesarios para permitir el libre desarrollo del ciclo)



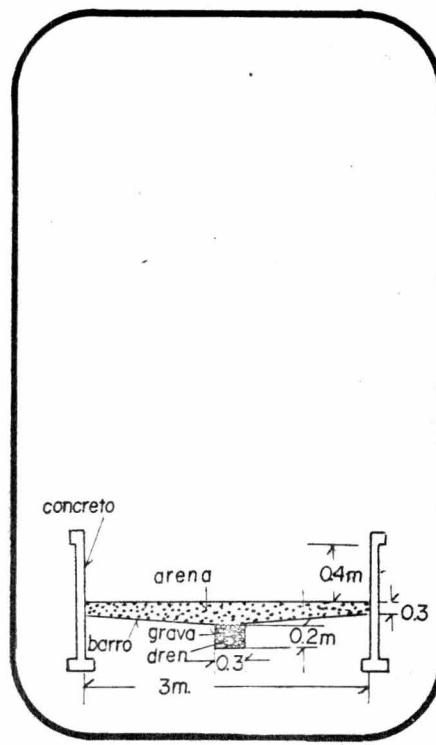


FIG. No. 37 ——— DISTRIBUCION DE LOS LECHOS DE SECADO

FIG. No. 38 ——— DIMENSIONES DE LOS LECHOS DE SECADO

El fondo de los lechos deberá tener una pendiente mínima de 0.5% para permitir el flujo del lodo de tal forma que se distribuya totalmente en el lecho (97).

Las dimensiones de los lechos estan de acuerdo a las recomendadas por la literatura (94 a 96).

NEUTRALIZACION

Las aguas residuales no pueden descargarse libremente a un cuerpo receptor si estan ácidas por los efectos que pueden causar a las diferentes formas de vida ahí existentes, es necesario tratarlas para reducir su acidez. Existen distintos métodos aceptados para lograr la neutralización de las aguas:

- Mezclado de aguas residuales de diferentes pH's, siendo neutro el de la mezcla resultante.
- Tratamiento con carbonato de calcio.
- Tratamiento con cal.
- Tratamiento con soda caústica o soda ash.

1. Mezclado de aguas residuales. Esta operación puede efectuarse individualmente para una planta o bien para varias plantas vecinas. Para funcionar, deben producirse desperdicios ácidos y alcalinos en la planta o plantas cuyas aguas se tratarán, de tal forma que al mezclarlos adecuadamente el pH resultante sea neutro. Es conveniente disponer de algún tipo de almacenamiento para poder desarrollar este método.

2. Tratamiento con carbonato de calcio. Se realiza este proceso haciendo pasar los desperdicios ácidos de la planta por camas de piedra caliza ($CaCO_3$). Es el método mas antiguo. El agua puede ser obligada a pasar al lecho en dirección ascendente o descendente, dependiendo de la cabeza estática disponible, a una velocidad menor a 1 GPM/ft^2 (98) . La reacción se efectuará hasta alcanzar la neutralización completa, al existir $CaCO_3$ en exceso. Para lograrlo, debe tenerse cuidado de permitir el suficiente tiempo de contacto entre el agua y el reactivo como para poder efectuarse la reacción.

Inconvenientes de este método son el lento tiempo de reacción del carbonato de calcio y la imposibilidad de tratar aguas demasiado ácidas si existe materia orgánica disuelta, por la formación de espuma. Además, el lecho de $CaCO_3$ debe reemplazarse periódicamente, a medida que se va agotando.

3. Tratamiento con hidróxido de calcio (cal). La reacción producida es similar a la del carbonato de calcio. El producto obtenido es conducido por el agua tratada a la salida del proceso de neutralización. La reacción también puede ser lenta pero -

posee un mayor poder neutralizante y su efecto puede acelerarse - por calentamiento y por oxigenación de la mezcla. La solución alcalina de hidróxido de calcio tiene un pH de 12.5 a 25°C (99), - no pudiendo emplearse, por ser demasiado debil, para neutralizar soluciones fuertemente ácidas.

La cal hidratada es dificil de manejar prefiriéndose -- almacenar el óxido de calcio e hidratarlo inmediatamente antes de emplearlo. Puede esperarse arena como impureza en el agua tratada si se emplea este método. La suspensión de $Ca(OH)_2$ utilizada en el tratamiento debe manejarse a velocidades relativamente altas para impedir la sedimentación de las partículas, pero no tan altas que provoquen la erosión de las valvulas y accesorios que la transportan.

Existe un tipo de cal llamada cal delomítica que contiene iguales cantidades de oxidos de calcio y magnesio pero su reactividad no es tan grande al ser mas debil el hidróxido de -- magensio formado durante la hidratación, no siendo conveniente emplearla en el presente caso.

En México puede conseguirse CaO con un 90-95 % de pureza con el nombre de calhidra química. La compañía fabricante es la CALHIDRA, S.A.

4. Tratamiento con sosa caústica (NaOH) o soda ash (Na_2CO_3). La reacción producida es muy rápida pero el tratamiento es mucho -- mas costoso (100, 101). Se necesitan menores volumenes de reactivo al ser este más poderoso que los anteriores. Los productos de reacción son siempre solubles y no incrementan la dureza de las aguas tratadas. La solución del reactivo no tiene problemas para su manejo pues son completamente solubles en agua.

El procedimiento seleccionado paraneutralizar las aguas residuales problema, objeto de la presente tesis, es el tratamiento con hidróxido de calcio obtenido de la hidratación de la calhidra química (CaO). Fue seleccionado por ser de bajo costo, con razonable eficiencia y relativamente simple operación. Tablas comparativas de costos de los diferentes tratamientos se encuentran en la literatura (100,101).

Se desechó el primer método por no contarse con desperdicios alcalinos; el tratamiento con $CaCO_3$ (más económico) por los

problemas que representa su operación, su difícil control y la presencia de sólidos disueltos y suspendidos; y el tratamiento con bases sódicas por su elevado costo.

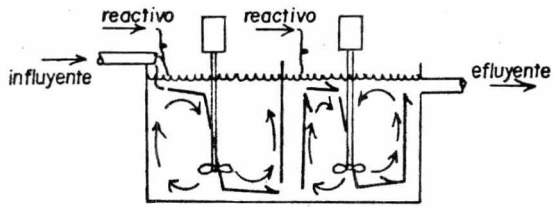
La reacción entre el ácido acético, causante de la acidez y el hidróxido de calcio es posible, obteniéndose un producto (acetato de calcio) soluble en agua (102) de tal forma que no se forma una película alrededor de las partículas del reactivo--lo que disminuiría la eficiencia de la reacción.

La reacción es instantánea (103) según la literatura, cosa comprobada experimentalmente en el laboratorio donde se mezcló una solución acuosa de ácido acético 0.1 N con una suspensión al-10% de $Ca(OH)_2$ observándose de inmediato el vire a la fenolfta - leina.

Para tener un mezclado perfecto el tiempo de retención - en la tina de neutralización recomendado por la literatura para-este tipo de tratamiento es de 15 min (104). Este tiempo permite el correcto funcionamiento del sistema controlador de pH al haber reacionado completamente el hidróxido cuando el agua neutralizada llega al punto donde se efectuarán las lecturas. Considera el tiempo que le toma a las celdas para efectuar las lectu -- ras, enviarlas, traducirlas y enviar la orden pertinente a la válvula de control y también los tiempos muertos que se presentan - en el tanque, debido a las corrientes de corto circuito.

Por las grandes variaciones existentes en el flujo de -- agua a tratar y en el pH de la misma, se colocarán dos tanques - en serie efectúandose neutralizaciones parciales (hasta pH=4.5 en el primero y hasta pH=6.5 en el segundo) de acuerdo a reco -- mendaciones de literatura (105, 106, 107). La conexión existente entre los dos tanques se muestra en la figura 39 y tiene por objeto evitar en cierto grado las corrientes de corto circuito.

El mezclado de la tina de neutralización puede ser por - agitación mecánica o por agitación con aire. Para seleccionar -- uno de estos sistemas es necesario hacer una evaluación económica, considerando además ciertos intangibles como por ejemplo el-mayor grado de dificultad en el mantenimiento del sistema de agitación por aire y la aceleración de la reacción de neutralización con $Ca(OH)_2$ por la oxigenación de la mezcla obtenida al agitar - con aire.



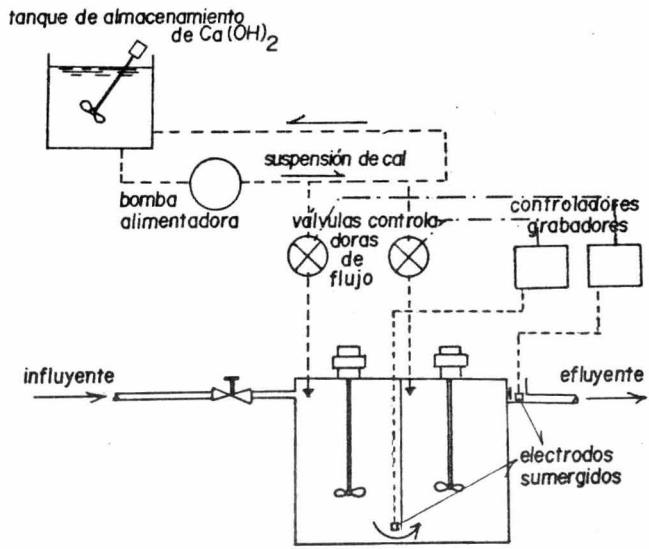


FIG. No. 39 ——— ESQUEMA DE LOS TANQUES DE NEUTRALIZACION
FIG. No. 40 ——— DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACION

AGITACION MECANICA

La agitación se hará en dos tanques, necesitándose dos - sistemas.

Tiempo de retención por tanque: 15/2=7.5 min.

Volumen del tanque = 23 l/seg x 60 seg/min x 7.5 min = 10350 l V
= 10.35 m^3 = 2750 galones

De acuerdo al manual publicado por la Bethlehm Corp.como guía para la selección de agitadores (108), la velocidad de la - propela será de 420 rpm y la potencia consumida será de 2.3 Hp - por cada 1000 galones de agua tratada.

Potencia del agitador = 2.3 x 2.75 = 6.325 Hp

El diámetro de la propela se obtendrá a partir de la ecuación mostrada por Rich (109):

$$P = K \rho n^3 D_i^5 / g_c \quad \text{.....ec (41)}$$

Despejando:

$$D_i = (P g_c / K \rho n^3)^{1/5} \quad \text{.....ec (42)}$$

Donde: Di = Diametro del impulsor (ft)

P = Potencia (lbf ft/seg)

ρ = Densidad (lb/ft^3)

K = Constante = 1 (109) para tanques cilíndricos con -- cuatro mamparas cuya longitud es una décima parte del diámetro- del tanque (evitan las corrientes de corto circuito), con una - altura de agua igual al diámetro del tanque y con dos propelas - de 3 hojas.

n = Velocidad angular de la propela (rev/seg)

gc= Factor de corrección de la ley de Newton.

Sustituyendo en la ecuación (92):

P = 6.325 Hp = 3479 ($^{lbf\ ft}/_{seg}$)

gc= 32.2(ft/seg^2) (lb/lbf)

n = 420/60 = 7 rev/seg

ρ = 62.4 lb/ft^3

D_i = 1.39 ft = 0.43 m

AGITACION POR AIRE

El criterio considerado es el máximo recomendado por la literatura (105) de 3 cfm/ft^2 para una profundidad de agua de 9 ft.

Altura del tanque = 9 ft = 2.74 m

Area de sección transversal = Volumen/altura = 10.35 m^3/ - 2.74 m = 3.78 m^2 = 40.6 ft^2

Gasto de aire, q = 3 ft^3/min x 40.6 ft^2 = 121.8 ft^3/min por -- tanque.

La potencia requerida por el compresor será, de acuerdo a McCabe y Smith (110):

$$P = \frac{Ta}{520} \cdot \frac{0.0643\ q}{n\ \eta} \cdot \left[\left(\frac{p_b}{p_a}\right)^n - 1\right] \quad \text{.....ec.(43)}$$

Donde: Ta = Temperatura de succión del aire (°R)

q = Gasto de aire (cfm)

n = k-1/k .....ec.(44)

k = cp/Cv

Cp, Cv = Capacidades caloríficas.

η = Eficiencia del sistema.

p_a , p_b = Presiones absolutas de succión y descarga del - aire (Psia)

P = Potencia del compresor (Hp)

Substituyendo en las ecuaciones (43) y (44):

Ta = 31°C = 547.8°R (54)

k = 1.41 (111)

η = 0.8 (110)

q = 2 x 121.8 243.6 cfm

p_a= 11.6 psia (Presión atmosférica en la cda. de Cuernavaca. Dato proporcionado por el Servicio Meteorólico Nacional)

P_b = 11.6 + (9 ft de agua x 0.4335 psia/ft de agua)
= 15.5 psia

Potencia = 6.4 Hp para los dos tanques de neutralización.

EVALUACION ECONOMICA DELOS DOS SISTEMAS

Se hará de forma similar a la desarrollada en el capítulo de temperatura, considerando el costo de operación por energía --

eléctrica y mantenimiento y el costo inicial del equipo y su instalación. El costo de los tanques se considera similar en ambos casos. El equipo se deprecia en 8 años.

AGITACION MECANICA:

Se requieren 2 unidades, una para cada tina

Costo del sistema de agitación = $40,450/unidad

(Cotización telefónica por fabricantes de equipo. Potencia del motor de cada unidad, 3Hp. Diametro de las propelas, 16")

Costo de instalación = $8 100 ^{00}/ unidad (20% del costo del equipo)

Costo mantenimiento = $8 100 ^{00}/unidad (20% del costo deequipo.

Costo energía eléctrica = 3 Hp x 0.7457 kw/Hp x 24 hr/dia x 261 dias/año x 0.23 $/kw-hr = 3220^{00} $\frac{\$}{año}$

AGITACION POR AIRE:

No se utiliza un compresor por ser demasiado caro el equipo debido al enorme gasto de aire que se necesita manejar. Se proponen dos turboventiladores en serie para proporcionar la cabeza estática necesaria (15.5 psia). Los fabricantes del equipo (Flakt SF de México, S.A.) cotizaron telefónicamente proponiendo este sistema con dos motores de 10 Hp.

Basta con una unidad para las dos tinas de neutralización

Costo del sistema de agitación = $70 000 ^{00}

Costo de instalación = $14 000 ^{00} (20% costo del equipo)

Costo de mantenimiento = 14 000 ^{00}(20% costo deequipo)

Costo energía eléctrica = 20 Hp x 0.7457 x 24 x 261x023 = $ 21 500 ^{00} anuales.

Tabla XI (A) Cantidad a pagar. (B) Pagos a valor presente.

A CONCEPTO	AGITACION MECANICA	AGITACION POR AIRE
Pagos anuales	$ 14 540.00	$ 35 500.00
Pagos cada 8 años	$ 97 100 00	$ 84 000.00

B CONCEPTO	AGITACION MECANICA	AGITACION POR AIRE
Pagos anuales Durante 8 años (Apliando Ecuación 40)	$ 77 570 00	$ 189 390.00
Pagos cada 8 años	$ 97 100 00	$ 84 000.00
PRECIO TOTAL A VALOR PRESENTE	$174 670 00	$ 273 390 00

Se selecciona la agitación mecánica por ser mas económica, además de tener menos problemas de operación y mantenimiento.

CONCLUSIONES

El tratamiento de las aguas residuales objeto de la presente tesis consistirá inicialmente en una neutralización con -- hidróxido de calcio, efectuada en dos tinas conectadas en serie y agitadas mecánicamente por propelas. Las tinas serán cilíndricas de concreto y tendrán un volumen de 10.35 m^3; la altura de -- agua será igual al diámetro y contarán con cuatro mamparas cada una. Los agitadores tendrán 2 propelas de 3 hojas con un diámetro de 16" (40.6 cm) y serán accionados por un motor de 3 Hp. -- Las tinas tendrán un tiempo de retención total de 15 min. para - un gasto de diseño de 23 $^{l}/seg$.

A continuación las aguas pasarán a un sedimentador de - remoción hidráulica de lodos, de forma rectangular construído de concreto con las dimensiones siguientes:

Largo = 25m
Ancho = 5m
Alto = 2.5m

Operará con un tiempo de retención de 3.5 hrs. y una carga superficial de 16.66 x 10^3 l/m^2 dia para el gasto de diseño.

Los lodos separados en el sedimentador no recibirán ningún tipo de acondicionamiento previo y pasarán directamente a -- los lechos de secado de la planta, 8 en total, cada una de los - cuales tendrá una área de secado de 45 m^2. El período de secado supuesto fue de 4 semanas, y se consideró para el diseño el gasto promedio de aguas residuales, 16.8 $^{l}/seg$

Por último, el agua sedimentada pasará al sistema de enfriamiento que consistirá en una alberca (24.7m x 15.2m) con 13 rociadores. El tubo al cual se conectarán los rociadores será de 4" (10 cm).Cada rociador podrá manejar 29 GpM (1.83 $^{l}/seg$) de -- agua a 10 psi (0.6804 atm) de presión manométrica, dando un chorro de 14 pies (4.27m) de altura. La altura del rociador será de- 25 pies (0.76m).

Las grasas y aceites que pudieran presentarse serán eliminados en el sedimentador mediante un desnatador mecánico junto con el material flotante sobrenadante.

El material flotante que pudiera persitir en el agua después del sistema de enfriamiento será retirado haciendo pasar el

agua

tratada por una malla de 3mm de claro libre cuadrada como parte final del proceso de descontaminación, para poder tirar el agua residual de la planta fuera de sus límites de batería.

BIBLIOGRAFIA

1. Council en Environmental Quality: "Environmental Quality, --- First Annual Report" , Transmited to the Congress, August --- 1970, U.S. Goverment Printing Office, Washington D.C.,p.VI.--

2. Meadows, Donella H. ; Meadows, Denis L. ; Randers J.; Behrens, William W. ; "The Limits to Growth", A Potomac Associates - - Book, Ed. Universe Books, New York, 1972, p. 43 y 94.

3. Berry, Albert E. ; "The Nature of the Water Pollutien Problem" Pollutien Control Conference, Toronto, Ontario, Canadá, 1967.

4. National Wildlife Federation; "National Wildlife Magazine" -- (Repint), published by National Wildlife Magazine, Washington D.C., Oct-Nov. 1970, p.116.

5. Council en Environmental Quality: "Environmental Quality, - - First Annual Report", Transmited to the Congress, U.S. Goverment Printing Office, Washington D.C., August 1970, p.29-42.-

6. Ubbelohde Edgar; "La Intervención de la SRH en la Prevención y el Control de la Contaminación del Agua", Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1973.

7. Ley Federal para el Control de la Contaminación Ambiental. -- Dada en la Residencia del Poder Ejecutivo Federal en la Ciudad de México, Distrito Federal el 8/Septiembre/1971.

8. Federal Water Quality Administration; "National Plan and - -- Strategy for Water Quality". Program Sumary. November 1970, - p.2-23.

9. SRH y SSA; "Reglamento para la Prevención y el Control de la Contaminación de Aguas" , Publicado en el Diario Oficial el - 29 de marzo de 1973.

10. Water Resources Commission; "Water Quality Standars", State - Office Building, Hartford, Conneticut, 1970.

11. Black, Hayse H. y McDermott, Gerald N.; "Capacity of Natural-Waters to Assimilate Wastes", Symposium on Water Conservation and Industrial Development. Environmental Health Center, U.S. Public Health Service, Cinciannati, Ohio, November 1952, p.1-9.

12. State Water Quality Control Beard; "Water Quality Criteria", published by McKee y Wolf, 2a.Edición, Sacramento Califor -- nia, 1963, p. 125-129, 138, 147, 168, 179-181, 228, 229, 233-237, 254, 255, 282-285.

13. Santaniello, Robert M. y Lund, Herbert E ; "Industrial Pu -- llution Control Hand book. Water Quality Criteria and Sthandars for Industrial Effluents", capítulo 4, parte 2, Mc Graw Hill Book Co. U.S.A, 1971.

14. SRH; Normas Oficiales de Muestreo y Análisis de Laboratorio- para Aguas Residuales. Sólidos sedimentables, grasas y aceites, material Flotante, temperatura y potencial hidrógeno; - publicadas por el Diario Oficial de la Federación, 1973.

15. APHA, AWA, WPCF; "Sthandard Methods for the Examination of - Water and Wastewater", American PublicHealth Association - - Inc,, 11ava edición, 1960, p. 193-194, 291-292, 327, 330 y - 429.

16. Trueba Coronel, Samud; "Hidráulica", Editorial S.A. ,6a. Edición, Octubre 1965, México, D.F., p.277-330.

17. Departamento de Sanidad del Estado de New York; "Manual de - Tratamiento de Aguas Negras", Limusa-Wiley, S.A, 1964, México, D.F., p. 53-60.

18. Steel, Ernest W.; "Water Supply & Sewerage", Mc Glow-Hill -- Book Co.Inc., 4a. edición, 1960, p.506-509.

19. ASCE y WPCF ; "Sewage Treatement Plant Design", 2a. edición, 1959, p.102.

20. "Technology Water Pollution Control". Chemical Engineering/ Deskbook Issue. Junio 21, 1971, p. 66-75.

21. Darby, W.Allen y Lund, Herbert F.; "Industrial Pellution -- Control Hand book. Water Pellution Control Equipment", Mc - Graw-Hill Co., USA. 1971, p.24-29.

22. ASCE y WPCF, p. 76-79.

23. Koehler R.; "Flotation Method and its Use in Sewage Treta -- ment" Wasser, Luft. Betr. (Ger). 13, 9, 329 (1969); Chemical Abstracs. 72, 15 56 67 (1970).

24. Babbit Hard E. y Baumann, Robert; "Alcantarillado y Trata -- miento de Aguas Negras", CECSA, 1965, 3a. edición, p.521.

25. Cohen , J.M.; "Wastewater Treatement. Physical and Chemical Methods", Journal of Water Pollution Control Federation, Junio 1971; 43, 6, 1092-114.

26. Yao K.M.;"Theoretical Study of High Rate Sedimentation" , - Journal WPCF, Febrero 1970; 42, 2, 218-228.

27. Mc Gauhey, P.H.; "Theory of Sedimentation", Cournal AWWA, - Abril, 1956 p. 437-448.

28. Babbit, Harold E. ; Doland, Jamest; Cleasby, John L.;"Water Supply Engineering", Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 6a.edición. USA, p. 420-431.

29. Camp, Thomas R.; "Sedimentation and Design of Settling - -- Tonks" ASCE Transactions, Volumen 111, p-897 (1946).

30. Eckenfelder, W.W.y Ford.; "Water Pollution Control Experi -- mental Pracedures for Process Design", Penberton Press, Jenkis Publishing Co., USA, 1970, Capítulo 4.

31. Weber Jr., Walter J.; "Physicochemical Process for Water -- Quality Control", Sahn Wolex & Sons Inc. USA, 1972.

32. Eckenfelder Sr., W.W.; "Industrial Water Pollution Control", Mc Graw-Hill Book Co. Inc., USA, 1966 , p.28-51.

33. Metcalf and Eddy Inc.; "Wastewater Engineering", Mc-Graw- - Hill Book Co. Inc., USA, 1972, p. 289.

34. Rich, Linvil G. ; "Unit Operations of Sanitary Engineering", John Wiley & Sons Inc. USA, 1961, p.87-93.

35. ASCE y EPCF ; 3a. edición, p. 86-101.

36. Steel, Ernest W.; p. 500-506.

37. ASCE y AWWA; "Water Treatement Plant Design", AWWA Inc.,USA, 1969 , P.90-107.

38. Babbit y Bauman; p. 511-513.

39. Fair Gordon M.; Geyer, John C. y Okun, Daniel A; "Purifica - ción y Tratamiento de Aguas Residuales", Limusa-Wiley, Volumen II, 1971, México, D.F., p.174.

40. AWWA; "Eater Quality & Treatement", Mc Graw-Hill Book Co. -- Inc. USA, 1971.

41. Hardenberh W.A. y Radie, Edward B.; "Water Supply & Waste -- Disposal", International Text books Co., USA , 1961, p.318 - y 350.

42. Clark, John W.; Viesseman Jr., Warren y Hammer Mak J.;Water-Supply and Pollution Control", International Textbook Co. y-USA, 1971, 2ª edición, p.341-350 y 332-338.

43."Manual de Tratamiento de Aguas Negras", p.53-69.

44. Hazan, A.; "On Sedimentation", ASCE Transactions. Vol.53, -- 1904, p.45.

45. Hansen, Sigurd, P. y Colp Gordon L. "Applyeng Shallow Dopth-Sedimentation Theory", Journal AWWA, 1967, Vol. 59, p.1134 - 1148.

46. Yao, Kuan M.; "Design of High-Rate Settler", Jounal ASCE, -- Environmental Engineering Div., Octubre 1973, p-621-637.

47. Gebauer, George A.; "Design of High-Rate Settlers, Discussion, Journal ASCE. Environmental Engineering Div., Octubre 1974,p. 1187-1188.

48. Culp, Rusell L. y Culp, Gordan L.; "Advanced Wastewater Tretament", Van Nostrand Reinhald Co., USA, 1971, p. 36-47.

49. CRANE: "Flow of Fluids Through Valves, Fettings and Pipe", - CRANE Co., USA, 1972, 12ava edición, p. A-3 y A-6.

50. Keller, Roy A.; " Basic Tables in Chemistry", McGraw Hill -- Boox Co. Inc. y USA, 1967.

51. Perry , Robert H. y Chilton, Cecil H.; "Chemical Engineering's Handbook". Mc Graw-Hill Book Co. Inc., 5ª edición, 1973.

52. Lanhaar, J.W.; Cooling Pond May Answer your Wate, Cooling -- Problem", Chemical Engineering, Agosto 1953, p.194-192.

53. Perry y Chilton; "Chamical Engineering's Handbook", International Student Edition , Mc Graw-Hill Kögarusha, 4ª edición, p. 15-21 a 23.

54. Industrial Mexicana, S.A.; "Recomendaciones para el Diseño de

Torres de Enfriamiento. Tablas para la Ciudad de Cuernavaca", México, D.F.

55. The Marley Co. ; " Marley Engineering Manual for Industrial - Cooling Towers", USA, 1953, p. 21.

56. Whitesell, Jack ; "How to Evaluate Variables in Counter Flou Cooling Towers",Chem Eng , Enero 1955, p.187.

57. "Technology - Water Pollution Control", Chem Eng./Deskbook - Issue, Junio 21, 1971. p.75.

58. Marley Engineering Manual for Industrial Coling Towers", - - p. 31-36.

59. Ludwig, Ernest E.; "Applied Process. Design for Chemical/and Petrochemical/ Plants", Volumen II, Gulf Publishing Co., - - USA, 1964, p. 194.

60. "Air Conitioning Systems and Components", p. 3-58.

61. Perry y Chilton, 4ª Edición, p. 15-17 a 21.

62. De Monbrun, J.R. ; "Factors to Consider in Selection a - - - Cooling tower", Chem. Eng., Septiembre 9, 1968. p.109.

63. Ludwig, Ernest E. ; p.197.

64. Perry y Chilton; 4ª edición, p.15-16.

65. Rich, Linvil G. ; p. 26-29.

66. Ludwig, Ernes E. ; p. 208-219.

67. Kelly, N.W y Swenson ,L.K.; "Comparative Performance of - - Cooling Tower Packing Arrangement", Chem. Eng. ProgrOss, -- Vol. 52, No.7, Julio 1956 p.263-268.

68. Pritchar and Co. oFCalifornia; "Counter Flou Cooling Tower-- Per Formance", USA. 1957.

69. CRANE; p. 3-6.

70. CRANE; p. B-16.

71. Rich, Linvil G.; p.21.

72. CRANE; p.B-14.

73. Schweyer, Herbert E. ; "Process Engineering Económics", Mc - Graw-Hill Book Co. Inc., USA, 1955.

74. Metcalf and Eddy Inc. ; p. 587.

75. Weber Jr. Walter J. ; p.561.

76. Steel , Ernest E. ; p. 575.

77. Darby, W. Allen y Lund, Herbert F. ; p. 24-11.

78. Steel, Ernest E. ; p. 592.

79. Hardenbergh y Rodce ; "Ingeniería Sanitaria", CECSA, 2a. edición , 1968 p. 471.

80. Babbit y Baumann; p.729.

81. Hardenbergh y Redie; p. 473-474.

82. Metcalf and Eddie Inc.; p. 304.

83. Weber Jr. Walter J. ; p. 563.

84. Metcalf and Eddie Inc.; p. 621-622.

85. Babbit y Baumann; p. 719-721.

86. Metcalf and Eddie Inc.; p. 624.

87. Weber Jr. Walter J.; p. 580-583.

88. Witt Jr. Philip A. ; "Salid Waste Disposal", Chem Eng./ - - - Deskbook Issue, mayo 8, 1972, p.109-113.

89. Metcalf and Eddy In Co. p. 624.

90. Babbit y Boumann; p. 732.

91. Witt Jr, Philip A.; p.155-159.

92. Babbit y Baumann; p. 682.

93. Weber Jr., Walter J.; P. 588.

94. Hardenbergh y Rodie; p. 474.

95. Weber Jr., Walter J.; p.578.

96. Babbit y Baumann; p. 717.

97. Clark, Viessman y Aammer; p. 568-570.

98. Nemerow, Nelson N.; "Liquid Wastes of Industry. Theory, - - Practices and Treatcoment," Adison-Wesley Publishing Co., -- USA, 1971, p.74.

99. Shinkey, F.G.; " pH and pION Control in Process and Waste Streams", John Wiley and Sons; USA, 1973, p.175.

100. Gurnham, FredG; "Principies od Industrial Waste Treatement"; John Wiley & Sons Inc., USA, p. 181.

101. Nemerow, Nelson N.; "Theories and Practices of Industrial - Waste Treatement", Adison-Wesley Publiching Co.Inc.,USA, -- 1963.P.63.

102. Perry y Chilton; 3a. edición , 1950, p.110.

103. Rakoff, Henry & Rose, Norman C.; "Quimica Orgánica Fundamental", Limusa-Wiley, S.A., México, 1971, p.288.

104. Shinkey, F.G.; p.169.

105. Eckenfelder Jr., Wesley W. (Editor-in-chief).; "Manual of - Treatement Precess", Vol. I, Envicronmental Science Services Corp., USA, 1969. p.7-4.

106. Dickerson B.W. y Brooks R. M.; "Neutralization of Acid - - Wastes", Industrial Engineering Chemistry, Abril. 150; - - 42, 4, 599-605.

107. Gumham, Fred G.; p.183.

108. Shinkey, F.G. ; p. 161.

109. Rich, Linvil G.; p. 69-70.

110. Mc Cabe, Warrent. y Smith, Julian C.; "Unit Operations of-- Chemical Engineering, Mc Graw-Hill Book Co. Inc.,USA,1956, p.170.

111. Perry y Chilton; 5ª Edición, p. 6-16.

112. Himmelbleau, David M. ; Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química", CECSA, México, 2ª Edición, 1970,p.205.

113. Ocon García, Joaquín y Tojo Barreiro, Gabriel; "Problemas- de Ingeniería Química"; Tomo I, Aguilar S.A. de Ediciones, 1971, España. p.375.

114. Treybal, Robert E; "Mass Transfer Operation's", International Students Edition. Mc Graw Hill Book Co. , 2ª edición,- USA, p. 194.

ANEXOS

ANEXO I. CARTA PSICOMETRICA PARA LA CIUDAD DE CUERNAVACA, MORELOS.

Las ecuaciones empleadas son las siguientes:

1. $H = (M_v/M_g)\ (P_v/P_t - P_v)$

2. $H_R = (P_v - P_v^*)\ 100$

3. $-\lambda_w / (h_g/k_y) = m_{LSA}$

4. $h = C_s(T - T_o) + \lambda_o H$

5. $C_s = C_{p_g} + C_{p_v} H$

Donde:

H= Humedad ($^{kg.de\ vapor\ de\ agua}/_{kg.aire\ seco}$)

H_R=Humedad relativa (%)

Mv=Peso molecular del vapor de agua ($^{kg}/_{kg\ mol}$)

Mg=Peso molecular del gas, aire ($^{kg}/_{kg\ mol}$)

Pv= Presión parcial del vapor en la mezcla gaseosa (mm de Hg)

P_T= Presión atmosférica (mm de Hg)

P_v^*= Presión parcial del vapor a condiciones de saturación - (Se tomaron las presiones de vapor de agua obtenidas a 760 mm de Hg., pues a condiciones normales, el cambio - de la presión de vapor con la presión total es despreciable. (112). Estos datos fueron tomados de la literatura (113).

λ_w= Calor latente de vaporización del agua (K cal/kg)

h_g= Coeficiente de tranferencia de calor por convección.

k_y= Coeficiente de transferencia de masa.

(Según Dropkin's, la relación h_g/k_y tiene un valor de- 0.227 para el sistema aire agua (114)).

m_{LSA} = Pendiente de las lineas de saturación adiabática y para el caso-aire agua, de las lineas de temperatura de bulbo húmedo.

h = Entalpia de saturación ($^{kcal}/_{kg\ aire\ seco}$)

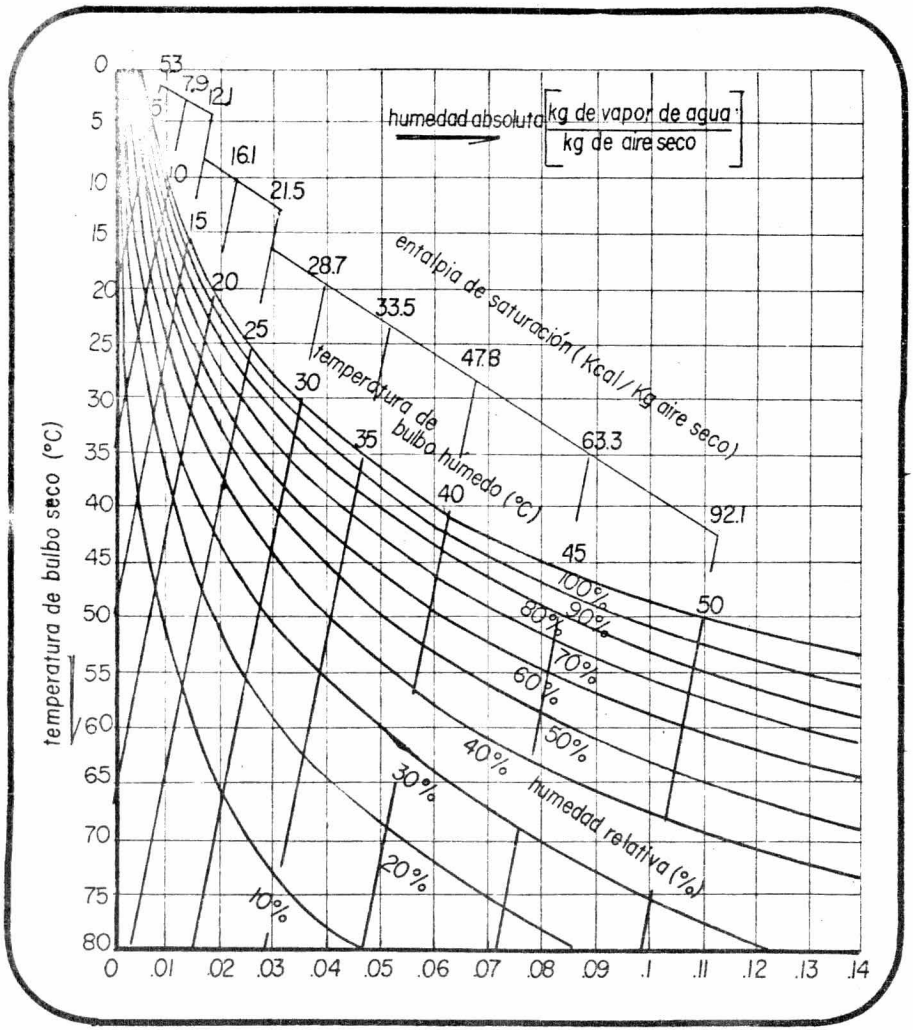
C_p= Capacidad calorífica del gas (aire) y del vapor (agua)

T = Temperatura (^oC)

T_o = Temperatura base (0^oC)

λ_o = Calor latente de vaporación a la temperatura base ($^{Kcal}/_{Kh}$)

Considerando una presión atmosférica para la ciudad de Cuernavaca de 600mm de Hg (Servicio Metereológico Nacional.) y empleando estas ecuaciones se obtuvo la gráfica mostrada.



CARTA PSICOMETRICA
ANEXO I

ANEXO II

ENVIROTECH

Febrero 26 de 1975.

INSTITUTO DE GEOFISICA
Ciudad Universitaria
México, D. F.

At'n: Dr. Humberto Bravo
Depto. de Contaminación Ambiental

Asunto: Clarificador
N/Ref.: 91052-40299

Muy señores nuestros:

De acuerdo con su solicitud, estamos adjuntando a la presente nuestra descripción mecánica así como nuestro precio de venta de un (1) Mecanismo Clarificador Eimco de 40 pies de diámetro.

La selección de este clarificador se basó en el área de superficie dada por ustedes que es de 122 metros cuadrados.

La fabricación de este Mecanismo sería en nuestra planta ubicada en Naucalpan, Edo. de México, en donde hemos fabricado bastantes equipos de este tipo.

Estamos adjuntando plano y folletos descriptivos así como nuestras Condiciones Generales de Venta.

Esperamos que esta información merezca su aprobación para así vernos favorecidos con su amable pedido. Si se requiere información adicional con mucho gusto se la proporcionarémos.

De antemano les damos las gracias por su atención a este asunto.

Atentamente,

ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. de C. V.

ING. GASPAR GONZALEZ

GG*rdl.

ENVIROTECH

PROPOSAL NO.
91052-40299
FEBRERO, 1975

DESCRIPCION Y PRECIO DEL CLARIFICADOR

CLARIFICADOR EIMCO TIPO "B" DE 40' ø x 7' SWD

DESCRIPCION GENERAL

Envirotech de México, S. A. de C. V., deberá suministrar un (1) Mecanismo Clarificador fabricado de acero al carbon, adecuado para instalarse en un tanque de concreto o de acero suministrado por otros de 40' de diámetro interior x 7' de altura lateral del agua con 15" de reborde libre, teniendo una pendiente en el fondo de 1" en 12". Cada mecanismo será del tipo "B" según lo fabrica Envirotech de México. El mecanismo será soportado en un puente estacionario de alimentación central.

El equipo suministrado para el mecanismo clarificador, incluirá un pasillo con pasamanos, un conjunto de transmisión central, control para la transmisión, un puente soportado en los lados del tanque, un pozo de alimentación, dos brazos para remover los lodos con sus rastras de acero y una unidad de alarma.

Todos los componentes fabricados serán embarcados en secciones convenientes, permitidas por las regulaciones de los transportes, apropiadamente marcados para fácil armado en el campo, por otros.

PASILLO

El pasillo tendrá 36" de ancho y pasamanos y estará soportado en los extremos por la pared del tanque, y tendrá la resistencia necesaria para soportar todas las capas normales de operación. Consistirá de dos canales con una lámina de acero antiderrapante de 3/16" soldada entre los canales. Los pasamanos tendrán 42" de alto y serán del tipo de doble barra horizontal de tubo.

CONJUNTO CENTRAL

El conjunto central consistirá de la unidad de transmisión con un balero principal, puntos de lubricación adecuados y un soporte para el piso y el pasillo.

La unidad de transmisión, consistirá de un engrane principal, piñón y engrane sinfín, movidos por un motorreductor de engranes de 3/4 HP. totalmente cerrado, mediante sprockets y cadena, y la correspondiente guarda. El conjunto de engrane sinfín,

estarán encerrados con un alojamiento de hierro fundido provisto con sellos a prueba de polvo y destinado para que todos los engranes y baleros trabajen en un baño de aceite. El alojamiento del engrane principal, estará conectado a la parte superior del puente de entrada estacionaria con tornillos según se requiere para transmitir el torque de diseño.

El engrane principal será de fierro fundido soportado y girando en un balero de bolas de precisión del tipo radial y de empuje. El sinfín de una aleación forjada de acero, el engrane principal será de hierro gris.

CONTROL DE LA TRANSMISION

La flecha del sinfín, tendrá movimiento libre horizontal dentro de los límites permitidos por el resorte de compresión calibrado en el lado de empuje. El movimiento de la flecha del sinfín será transmitido adecuadamente hasta un indicador que mostrará la carga relativa de la unidad en una escala graduada. Levas ajustables independientemente a través de todo el rango de torque se suministrarán para hacer contacto en interruptores límite para sonar una alarma y cortar la potencia a los motores a una carga predeterminada. Los interruptores serán del tipo NEMA IV, montados en un alojamiento fabricado de una aleación de aluminio fundido.

POZO DE ALIMENTACION

El pozo de alimentación será de 7' de diámetro x 2' de altura lateral, soportado por ménsulas conectadas a la flecha central. El pozo será fabricado en placa de acero 3/16" con un ángulo de refuerzo superior y también con placas de refuerzo verticales en los puntos donde se conecten las ménsulas.

BRAZOS REMOVEDORES DE LODOS:

El mecanismo incluirá dos brazos removedores de lodos del tipo armadura con hojas de acero de 3/16" para el raspado.

Las hojas serán espaciadas adecuadamente para asegurar el rastrillado del fondo del tanque dos veces por revolución.

UNIDAD DE ALARMA:

Se suministrarán con el mecanismo clarificador una unidad de alarma a prueba de intemperie con una bocina tipo industrial, botones para arranque y repuesta en marcha instalados en una caja de fierro fundido teniendo una cubierta removible. La bocina será construída de material no corrosivo y estará designada para localizarla remotamente o montada en la caja de alarma.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS:

El motor de la transmisión del clarificador, será diseñado para operar a 220/440 volts y 50/60 ciclos, 3 fases, El control de la transmisión y la unidad de alarma será diseñada para operación a 110 volts, y fase sencilla de corriente.

LUBRICACION

Todos los engranes y baleros girarán en un baño de aceite.

Puntos para lubricación y drenado de aceite se localizarán adecuadamente para una fácil operación en la unidad.

PINTURA:

Toda la superficie fabricada que requiere pintura, serán limpiadas con una capa de Primer Standard de Envirotech.

PRECIO L.A.B. NUESTRA PLANTA EN NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO. $ 266,743.00 M. N.

CONDICIONES GENERALES

ENVIROTECH

PRECIOS Y EMBARQUE: Presupuesto No. 91052-40299

Los precios son L. A. B. planta de Envirotech, en la Ciudad de México, y firmes, y no incluyen el 4% de Impuesto Sobre Ingresos Mercantiles, basandose en que el embarque no sea después del 27 de Dic. 1975. Se mantendrá la fecha tentativa de embarque, si el comprador submite la siguiente información ántes del 27 de abril de 1975: 1) Pedido del cliente, 2) Información completa de tecnica e ingeniería, 3) Primer pago, 4) Aprobación de dibujos finales, cuando la aprobación de dibujos sea especificada por el pedido del cliente.

Si el comprador no entrega cualquiera de los requisitos especificados anteriormente, a la fecha especificada, la fecha tentativa de entrega será dilatada por el mismo equivalente de tiempo y los precios aumentarán el 2% por mes, como resultado de estos retrasos.

El embarque será arreglado y pagado con anterioridad por Envirotech de México. Los cargos de embarque se sumarán en la factura del equipo. Si el cliente prefiere hacer los arreglos de embarque personalmente, Envirotech reserva el derecho de enviar la factura cuando el equipo esté terminado completamente y listo para envio. El cliente está de acuerdo a embarques y facturas parciales.

Envirotech no se hará responsable o se comprometerá por cualquier falla que le permita actuar, debido a Actos de Dios, incendio, inundación, guerra, fuerza de armas, explosiones, accidentes, embargos, dificultades laborales, escasez de mano de obra, interrupción de transporte, escasez de materiales, pérdidas de servicio esenciales para la producción, racionamientos o cualquier ley, reglamento, regulaciones, instrucciones u órdenes de autoridades gubernamentales ni por cualquier otra razón fuera del control de Envirotech de México o sus subcontratistas.

TERMINOS DE PAGO:

30% con la orden.
20% sesenta (60) días de la fecha de la orden.
20% ciento veinte (120) días de la fecha de la orden.
25% a la presentación de la factura y antes de embarque.
5% treinta (30) días netos.

SERVICIO:

DOS (2) días de servicio para arranque y servicio mecánico estan incluídos en el precio. Si se requiere servicio adicional, es accesible con un costo de $2,500.00 pesos por día más gastos de viaje y hospedaje.

MANUALES Y LISTAS DE REFACCIONES RECOMENDADAS:

CUATRO (4) manuales en Español están incluídos. Se pueden obtener manuales adicionales a $1,000.00 pesos por copia. Una lista de precios de quotización de partes recomendadas será incluida en nuestro Manual de Instrucciones.

ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V. Apdo. Postal M-10490 Mexico 1, D. F.
Teléfono 557-57-33 con 5 líneas Telex 017-74248 Dirección Cablegráfica ENVIROMEX

CONDICIONES GENERALES

ENVIROTECH

Presupuesto No. 91052-40299

GARANTIA Y CONDICIONES:

La garantía Estandar de Envirotech de México (Forma E-1112B (P/M) y Condiciones de Contrato (Forma E-2515), están adjuntas y forman parte esencial de esta cotización. Envirotech de México se reserva el derecho de retirar esta oferta, por escrito, en cualquier momento.

ENVIROTECH

OFERTA No. 91052-40299

(COMPRADOR) y ENVIROTECH DE MEXICO S. A. DE C. V. (VENDEDOR) expresamente convienen en que la compra venta de los productos (productos) que se senalan en la oferta cuyo numero se cita al rubro (esta oferta), se sujetara exclusivamente a los siguientes:

TERMINOS Y CONDICIONES

1. Todos los precios cotizados en esta oferta podran modificarse sin previo aviso 30 dias despues de la fecha de esta oferta, salvo estipulacion por escrito de las partes en contrario.

Salvo estipulacion en contrario en otras disposiciones de esta oferta todos los precios cotizados se entenderan que son L.A.B. fabrica del VENDEDOR o los respectivos lugares de embarque de sus proveedores. Todas las reclamaciones por danos, mermas o faltantes derivadas de cualquier embarque L.A.B. debera hacerlas el COMPRADOR ante y en contra del porteador. Cuando los embarques se coticen L.A.B. ubicacion de la obra u otro destino, el COMPRADOR debera inmediatamente inspeccionar el equipo embarcado, dando aviso por escrito al VENDEDOR dentro de las cuarenta y ocho horas de la entrega del equipo de cualquier dano o faltante. El COMPRADOR expresamente reconoce y acepta que en caso de que no se de dicho aviso al VENDEDOR dentro del plazo senalado este solo hecho constituye aceptacion del equipo por parte del COMPRADOR, quedando liberado el VENDEDOR de cualquier responsabilidad legal derivada de danos causados o faltantes en el equipo entregado, ocurridos durante su transportacion.

2. Salvo que esta oferta contenga una disposición expresa en contrario el precio de los Productos no incluye el de los servicios de un Superintendente de Montaje ni los gastos de instalación de los Productos. El VENDEDOR recomienda y se compromete a facilitarle al COMPRADOR en caso de que este asi lo solicite por escrito a uno o mas Superintendentes de Montaje para supervisar la instalacion de los Productos, en la inteligencia de que dichos Superintendentes seran empleados del COMPRADOR durante el tiempo en que esten supervisando la referida instalación, y el COMPRADOR se obliga a pagarle a dichos superintendentes un salario igual al que en ese momento les este pagando el VENDEDOR. El COMPRADOR se obliga, ademas, a obtener los trabajadores que requiera el Superintendente de Montaje para llevar a cabo la instalacion, misma que se efectuara sin interrupcion por parte de otros fabricantes o contratistas.

Si el VENDEDOR no ha instalado los Productos, el COMPRADOR sera unico responsable de la correcta operacion de los mismos, en la inteligencia de que el precio de todos los servicios y gastos en que incurra el personal del VENDEDOR para efectuar ajustes, o cambios posteriores seran por cuenta unica y exclusivamente del COMPRADOR quien se obliga a cubrirlos en los terminos anteriores.

3. Esta oferta se refiere unica y exclusivamente a los Productos, salvo disposición expresa en contrario, no incluye materiales, accesorios, motores y provisiones, tubos para flujo, etc.

El VENDEDOR proporcionara los dispositivos de seguridad senalados en esta oferta o que se muestran en los dibujos del VENDEDOR proporcionados como parte de esta oferta, y el COMPRADOR acepta y conviene en que el VENDEDOR no tendra obligacion de proporcionar ningun otro dispositivo de seguridad y que sera obligacion del COMPRADOR el obtener y colocar cualquier otro dispositivo de seguridad requerido por la ley o por cualquier otra razon en relacion con los Productos. El COMPRADOR, expresamente se obliga a defender al VENDEDOR en contra de cualesquier reclamaciones o perdidas que deriven de la insuficiencia o impropiedad o alegada de los dispositivos de seguridad ofrecidos o proporcionados como parte de esta oferta, sea que estos esten especificados por el VENDEDOR o por el COMPRADOR, asi como de las reclamaciones o perdidas derivadas del uso del equipo, obligandose asimismo el COMPRADOR a indemnizar al VENDEDOR por cualesquier desembolso que este tuviera que hacer como consecuencia o derivados de dichas reclamaciones o perdidas.

4. Todas los impuestos federales, estatales o locales aplicables a esta operación inclusive pero sin que esto implique limitacion alguna, por concepto de ingresos mercantiles, ventas, egresos, y uso, incluidos o no en el precio, seran a cargo exclusivo del COMPRADOR.

5. El VENDEDOR se reserva la propiedad de los Productos hasta que su precio haya sido pagado en su totalidad. En tal virtud e independientemente de la manera en que sean usados por el COMPRADOR o adheridos o unidos por este a un bien inmueble los Productos conservarán su calidad de bienes muebles hasta la total solución del precio de venta estipulado en esta oferta mas los intereses moratorios a que haya lugar. El COMPRADOR se obliga a llevar a cabo todo lo necesario para proteger el referido derecho de dominio del VENDEDOR. Las partes contratantes convienen en que, para los efectos de los ARTICULOS 2314, 2315 y 2311 DEL CODIGO CIVIL PARA EL DISTRITO Y TERRITORIOS FEDERALES Y SUS CORRELATIVOS DE LOS CODIGOS CIVILES DE LOS ESTADOS, el importe de la venta por la posesion y uso de los Productos que debera pagar el COMPRADOR al VENDEDOR queda fijado precisamente en una cantidad igual a la suma de las cantidades que debio haber pagado el COMPRADOR por concepto de precio hasta la fecha misma de la recuperacion de la mercancia por el VENDEDOR por lo que este no tendra que devolver cantidad alguna al COMPRADOR ni abonarle interes sobre las recibidas; sin perjuicio del derecho del VENDEDOR de demandar la correspondiente indemnizacion del COMPRADOR, que fijaron peritos, por el deterioro que hayan sufrido los Productos y el COMPRADOR renuncia de una manera expresa y clara a los derechos que en lo sucesivo a fijacion de renta pudiere conceder el artículo 2311 del mismo ordenamiento y de sus correlativos de los Codigos Civiles de los Estados, sin perjuicio de lo anterior y en caso de incumplimiento del COMPRADOR en el pago del precio el VENDEDOR tendra derecho de entrar en las instalaciones del COMPRADOR donde se encuentren instalados los Productos y retirarlos como de su propiedad.

6. El COMPRADOR se obliga a obtener y mantener en vigor un seguro suficiente para cubrir toda clase de riesgos, perdidas o daños que puedan ocurrirle a los Productos desde la fecha de su embarque y hasta la fecha en que el precio de dichos Productos haya sido totalmente pagado. El COMPRADOR conviene, ademas, en que las primas por dicho seguro correran por su unico y exclusiva cuenta obligandose expresamente a pagarlas y a designar al VENDEDOR como beneficiario del referido seguro en cuanto a la parte insoluta del precio de los Productos.

7. Las fechas de embarque señaladas por el VENDEDOR en esta oferta son aproximadas, y esta no se hace responsable, por ningun concepto, para el caso de que los embarques no se lleven a cabo en dichas fechas.

El VENDEDOR tendra el derecho de efectuar embarques parciales, en la inteligencia de que las facturas que amparen dichos embarques parciales deberan ser cubiertas por el COMPRADOR de conformidad con los terminos y condiciones señaladas en esta oferta. La demora o la falta de cualquier pago por el COMPRADOR de acuerdo con las estipulaciones de esta oferta tendra como consecuencia el que se consideren vencidos todos los plazos para efectuar cualesquier pagos por el COMPRADOR señalados en esta oferta sin responsabilidad alguna del VENDEDOR para con el COMPRADOR o clientes del mismo y dichos pagos causaran un interes moratorio a partir de la fecha de [illegible] anticipado de conformidad con la tasa [illegible] Civil para el Distrito y Territorios Federales. El VENDEDOR [illegible] y a su opcion suspender todo trabajo y embarques pendientes [illegible] en tanto queden totalmente liquidados los [illegible] y a requerir que cualquiera envios futuros sean pagados con anterioridad al embarque.

Para el caso de que el COMPRADOR ordene que se [illegible] los embarques, el COMPRADOR se obliga a pagar al VENDEDOR [illegible] total convenido por los Productos al recibir aviso por parte del VENDEDOR de que los Productos se encuentran listos para embarque, conviniendo [illegible] el COMPRADOR en que cualesquiera gastos posteriores en que el VENDEDOR [illegible] en relacion con los Productos correran por cuenta unica y exclusiva del COMPRADOR por lo que se obliga desde ahora a pagarlos y a reembolsar al VENDEDOR cualquier erogacion que este efectue por dichos conceptos.

Si se estipula que la entrega de todo o parte de los Productos deba efectuarse en lugar o lugares distintos de la fabrica del VENDEDOR o de los lugares de embarque de sus respectivos proveedores y si la entrega se [illegible] o suspende por causa de huelga, accidentes, embargos, o cualquier otra causa fuera del control razonable del VENDEDOR y que ocurran en lugar diferente a la fabrica del VENDEDOR o de los lugares de embarque de sus respectivos proveedores, el VENDEDOR podra efectuar dicha entrega en la fabrica del VENDEDOR o en los lugares de embarque de sus respectivos proveedores dando aviso por escrito al COMPRADOR del lugar en que los Productos o la correspondiente parte de los mismos se encuentra a disposicion del COMPRADOR. En el caso de que el COMPRADOR se niegue a recibir dicha entrega el VENDEDOR tendra el derecho de almacenar los Productos y el COMPRADOR expresamente desde ahora toma a su unico y exclusivo cargo todos los riesgos y gastos por dicho almacenaje y se obliga a pagar dichos gastos y a reembolsar al VENDEDOR por todas las erogaciones que efectue por dichos conceptos.

Ademas el COMPRADOR expresamente reconoce y acepta que dicho aviso por parte del VENDEDOR constituira la entrega de los productos o de la parte respectiva de los mismos a que se contrae dicho aviso.

8. El COMPRADOR renuncia expresamente, conforme a los articulos 6, 7, 2117 y 2158 del Codigo Civil para el Distrito y Territorios Federales y sus correlativos de los Codigos Civiles de los Estados, a las acciones que pudiere concederle la legislacion aplicable sobre responsabilidad civil y vicios redhibitorios en contra del VENDEDOR, quedando expresamente entendido y aceptado por el COMPRADOR que el VENDEDOR no otorga mas garantias ni asume responsabilidad alguna adicional, que la Garantia de Producto (Forma E 1112B [illegible]) 11/70 impresa en hoja aparte que se adjunta como parte integrante de esta oferta.

9. El VENDEDOR defendera a su exclusivo cargo todo juicio o procedimiento judicial o administrativo incoado en contra del COMPRADOR y pagara cualquier adjudicacion por danos fijados en contra del mismo en dichos juicios o procedimientos siempre y cuando los mismos esten basados en el hecho de que los Productos o parte de los mismos constituyan una violacion de alguna patente otorgada en la Republica Mexicana a la fecha de este contrato, y siempre y cuando se le notifique prontamente al VENDEDOR por escrito de la iniciacion o posible iniciacion de cualquiera de dichos juicios o procedimientos y se le otorgue el control total de la defensa, arreglos o acuerdos respecto de dicha accion, y el COMPRADOR conviene en proporcionar al VENDEDOR toda la informacion, ayuda y poder general necesario que se requieran para que el VENDEDOR pueda efectuar la defensa del mismo. En el caso de que en dicho juicio o procedimiento llegare a declararse que los Productos o parte de los mismos suministrados por el VENDEDOR invaden una patente en la Republica Mexicana, prohibiendose el uso de los mismos o sus partes, el VENDEDOR tendra el derecho a su eleccion y exclusivo cargo, de (a) modificar los Productos o parte de que se trate para que dejen de ser violatorios, (b) obtener para el COMPRADOR el derecho de seguir utilizando los Productos o parte de que se trate, o (c) recogerlos integramente y reembolsar al COMPRADOR el precio de los mismos menos un cargo razonable por el uso de dichos Productos o parte de que se trate.

El VENDEDOR reembolsara al COMPRADOR por los gastos efectivamente erogados en que incurra al preparar la informacion y tenga la ayuda que el VENDEDOR le solicite, con excepcion de honorarios legales. El COMPRADOR expresamente reconoce y acepta que las disposiciones de esta demanda establecen y limitan la responsabilidad maxima y absoluta del VENDEDOR con respecto a daños y perjuicios resultantes de la invasion de patentes, y de que el VENDEDOR no asume responsabilidad alguna por violacion a patentes en tramite (a no ser que se estipule en contrario, por escrito, por las partes), y el COMPRADOR expresamente renuncia a cualquier derecho que pudiera asistirle para reclamar del VENDEDOR danos y perjuicios resultantes de la invasion de patentes otorgadas o en tramite.

10. La pintura primaria de taller unicamente esta destinada a servir como proteccion minima de terminado. El VENDEDOR no sera responsable por la condicion de las superficies con pintura primaria o final despues de que el equipo abandone sus talleres. El COMPRADOR tiene derecho de inspeccionar la pintura en los talleres para la preparacion y aplicacion adecuadas antes del embarque. El VENDEDOR no asume responsabilidad alguna por preparacion o retoque de la superficie debido a dano en la pintura por embarque. La pintura de abrasaderas y otros retoques de la superficie debido a dano en la pintura por embarque. La pintura de abrasaderas y otros retoques a las superficies pintadas deberan ser efectuados por el COMPRADOR despues de la instalacion de los Productos.

Las partes contratantes convienen en que la compraventa de los Productos se tendra por perfeccionada irrevocablemente desde el momento en que el COMPRADOR acepte esta oferta, independientemente de la entrega de los Productos y del pago de su precio. Para el caso de que el COMPRADOR ordene que se suspenda o demore la fabricacion de los Productos una vez comenzada esta, el COMPRADOR se obliga a pagarle al VENDEDOR el precio total convenido por todos los Productos, en la inteligencia de que todos los riesgos y gastos por seguros y de almacenaje ya sea en la planta del VENDEDOR o en cualquier otro lugar, correran por cuenta unica y exclusiva del COMPRADOR.

12. El VENDEDOR no aprobara ni aceptara cargos de regreso, (backcharges) por concepto de mano de obra, materiales u otros costos en los que incurra el COMPRADOR o cualquier tercero en la modificacion, ajuste, servicio o reparacion de materiales proporcionados por el VENDEDOR, a menos de que dichos cargos de regreso (backcharges) hayan sido autorizados por escrito por un empleado del VENDEDOR por un pedido del VENDEDOR o por una solicitud para efectuar trabajo firmado por el VENDEDOR.

13. Esta oferta contiene todas las estipulaciones convenidas por el VENDEDOR al COMPRADOR, dejando sin efecto cualesquier estipulaciones, convenios y contratos anteriores. Esta oferta, unicamente podra modificarse mediante acuerdo por escrito firmado por un funcionario autorizado del VENDEDOR y el COMPRADOR respectivamente.

ESTE CONTRATO NO OBLIGARA AL VENDEDOR A NO SER QUE ESTE FIRMADO POR UN FUNCIONARIO AUTORIZADO DEL MISMO.

Acepto:	Presentado:	Aprobado:
Fecha ____	Fecha Febrero 26, 1975	Fecha Febrero 27, 1975
Comprador ____	ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. de C. V.	ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V.
Por ____	Por [signature]	Por [signature]
	ING. GASPAR GONZALEZ	GARY L. DRAPER

E-2515 11/70

GARANTIA DE PRODUCTO

El equipo ENVIROTECH está respaldado por la reputación que tiene ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V., como un fabricante de calidad así como por el buen servicio prestado por dicho equipo durante muchos años.

El equipo fabricado y vendido por ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V., está respaldado por la siguiente garantía de fabricación:

En beneficio del usuario que adquiera directamente de ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V., equipo nuevo y sin usar, fabricado por ENVIROTECH; ENVIROTECH garantiza que tal equipo se encuentra libre de vicios ocultos debido a defectos en el material utilizado o a la mala calidad de mano de obra empleada en su fabricación.

En virtud de la garantía mencionada en el párrafo anterior, ENVIROTECH reemplazará a/o reparará L.A.B. (Libre a Bordo), en el lugar que ENVIROTECH señale, cualquier pieza o piezas que le sean devueltas, siempre y cuando, mediante el examen de las mismas efectuado por ENVIROTECH se compruebe que la falla ocurrió mientras eran usadas por el referido comprador original en las condiciones normales para las cuales fueron diseñadas, y siempre dentro del año siguiente a la fecha de su embarque inicial a dicho comprador.

El reemplazo o reparación de cualquier pieza será sin costo para el referido comprador excepto en el caso de reemplazo o reparación de correas o bandas transportadoras, telas de filtro y artículos semejantes que son consumibles y normalmente substituibles durante el servicio de mantenimiento, en cuyo caso el comprador deberá pagar un cargo proporcional calculado sobre la base de una estimación que haga ENVIROTEC del porcentaje que de la vida normal de dichas piezas se haya alcanzado a la fecha de la falla.

Para que la garantía mencionada en los párrafos anteriores surta efecto, el referido comprador deberá avisarlo por escrito a ENVIROTECH inmediatamente que note que existe alguno de los defectos a que se ha hecho mención, aviso que no podrá darse despues de los treinta (30) días siguientes a la terminación del plazo de un año arriba mencionado.

ENVIROTECH otorga esta garantía y el comprador expresamente la acepta en lugar de cualquier otra garantía verbal, escrita, expresa, tácita, implícita o por disposición de la Ley, incluyendo garantías de calidad y por vicios ocultos que hagan que el producto sea impropio para los usos a que se destina. Además ENVIROTECH no asume ni autoriza a persona alguna para que en su nombre y representación asuma ninguna otra obligación relativa a su equipo. ENVIROTECH no se hace responsable por el deterioro del referido equipo como consecuencia del uso y desgaste normal del mismo, ni por los daños y perjuicios derivados de responsabilidad civil, ni por los gastos incurridos mientras que, por cualquier razón, parte o todo de dicho equipo no pueda utilizarse.

No obstante lo dispuesto en los párrafos anteriores, ENVIROTECH no se hace responsable, por ningún concepto, por equipo o piezas del mismo que hayan sido alteradas o reparadas por técnicos sin autorización de ENVIROTECH ni por equipo o piezas del mismo que hubieran sido dañadas por razón de haber sido mal instalados o incorrectamente aplicados o hayan estado expuestos a uso impropio, abuso, descuido o accidente.

Esta garantía se aplica únicamente a equipo fabricado o vendido por ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V. ENVIROTECH no ofrece garantía con respecto a piezas, accesorios o componentes fabricados por otras empresas. La garantía, si la hay, aplicable a esas piezas, accesorios o componentes es la ofrecida por las respectivas empresas que las fabrican.

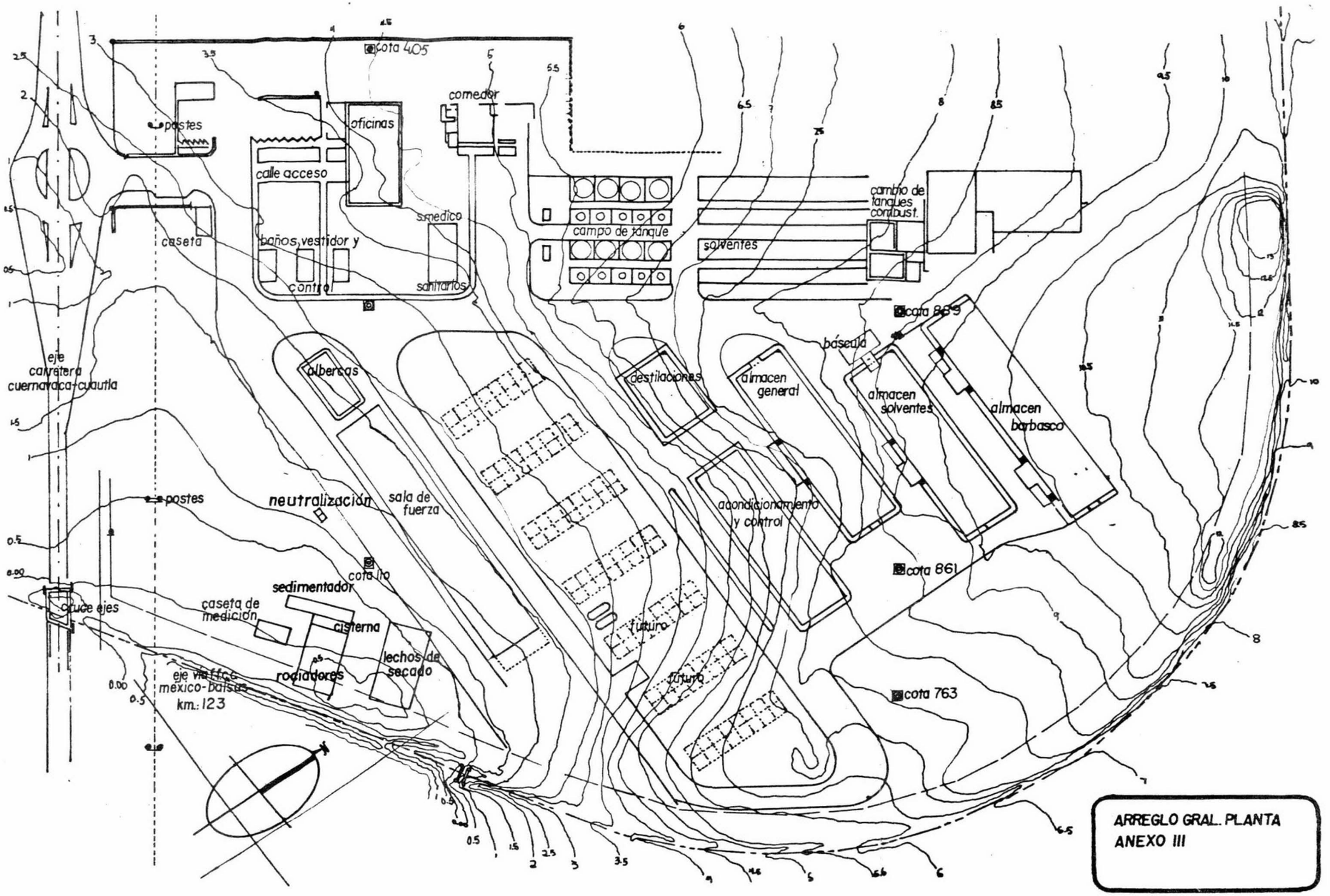
ENVIROTECH

La sola adquisición de equipo o piezas sueltas fabricadas por ENVIROTECH implica la adhesión y conformidad expresa del referido comprador con la siguiente cláusula:

"El comprador renuncia expresamente, conforme a los artículos 6, 7, 2117 y 2158 del Código Civil para el Distrito y Territorios Federales, y sus correlativos de los Códigos Civiles de los Estados, así como los artículos 373, 384 y demás relativos del Código de Comercio, a las acciones que pudiera concederle la legislación aplicable sobre responsabilidad civil y vicios redhibitorios en contra de ENVIROTECH DE MEXICO, S. A. DE C. V., que se pudiesen derivar de cualquiera de las disposiciones de esta "garantía de Producto" quedando expresamente entendido y convenido por el comprador que ENVIROTECH no otorga más garantías, ni asume responsabilidad alguna adicional, que la "Garantía de Producto" señalada en los párrafos anteriores".

ENVIROTECH DE MEXICO, S.A. DE C.V.

México, D. F.



ARREGLO GRAL. PLANTA
ANEXO III