



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
POR MEDIO DE FLOTACION  
CON AIRE DISUELTO.

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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:

Presidente: Profr. Roberto Andrade Cruz.  
Vocal. Profr. Antonio Frías Mendoza.  
Secretario: Profr. Alberto de la Fuente Zuno.  
1er. Suplente: Profr. Jorge Mencarini Peniche.  
2o. Suplente: Profr. Claudio A. Aguilar Martínez.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:  
Facultad de Química.

SUSTENTANTE:

Georgina Fernández Villagómez

---

ASESOR DEL TEMA:

M. en C. Antonio Frías Mendoza.

---

Con agradecimiento al Profesor  
Antonio Frías Mendoza por su  
valiosa ayuda y dirección en  
el desarrollo de este trabajo.

A MIS PADRES:

María E. Villagómez R. de Fernández.

José Fernández Velázquez.

con cariño por la inquebrantable confianza depositada en sus hijos.

A MIS HERMANOS:

Javier.

José Luis.

Elsa Guadalupe.

con gratitud y respeto.

A LA MEMORIA DE MARTI.

A LOS VERDADEROS ALIGOS.

AL H. JURADO.

## CONTENIDO.

		Página.
	Resumen	1
I.	Introducción.	2
II.	Antecedentes de la Flotación.	3
III.	Criterios de Diseño de las Unidades de flotación.	9
IV.	Ecuaciones de Diseño.	231
V.	Costos.	30
VI.	Conclusiones.	48
	Apéndices.	50
	Bibliografía.	55

## RESUMEN

1

El método de flotación con aire disuelto es un tratamiento mecánico para aguas residuales, así como lo son el cribado, la filtración y la sedimentación; en este método la densidad efectiva de la partícula, se modifica por la presencia de las burbujas de aire disuelto en la cámara de flotación. Este método se basa en el uso de burbujas de aire muy finas para incrementar la velocidad de separación de partículas suspendidas para que ellas puedan "flotar" a la superficie para ser eliminadas. Es en sí, un efecto contrario a la sedimentación y puede ser aplicado solo o en combinación con el método de floculación (floculación-flotación). Este proceso no debe de ser confundido con el proceso de flotación usado por muchos años para la separación y concentración de minerales.

Así, el proceso de flotación con aire disuelto, es un tratamiento para eliminar aceite, grasas y sólidos suspendidos de las aguas residuales. El proceso se aplica para un cierto rango de tamaño de partículas, en donde el tiempo de retención utilizado es mucho menor para aquellos requeridos en la sedimentación, para resultados equivalentes. Una segunda ventaja es que la flotación por medio de aire disuelto es menos susceptible de variaciones por temperaturas o fluctuaciones de flujo. La tercera ventaja, es el uso de dosis bajas de sustancias químicas, cuando estas son necesarias para formar agregados. (flotación-floculación). La cuarta ventaja consiste en la alta concentración de sustancias flotadas.

Tal parece que las principales desventajas son los costos de bombeo de el agua residual y un efluente ligeramente menos limpio comparado con la calidad óptima que se hace posible con el proceso de floculación-sedimentación.

## I. INTRODUCCION.

2

El objetivo de este trabajo es el de dar a conocer, de una manera general, en que consiste el método de Tratamiento de Aguas Residuales por medio de Flotación con Aire Disuelto, teniendo como fundamento los estudios que se han llevado a cabo en plantas piloto y en las unidades instaladas en industrias que tienen problemas con las aguas residuales, como son las fábricas de papel, refinerías, emparadoras de alimentos, etc.

El tema tiene como base para su justificación, el problema de la contaminación ambiental, la recuperación de las materias útiles a los procesos y la utilización de las aguas tratadas.

En cuanto a contenido, se realiza una breve reseña histórica de los trabajos de flotación que precedieron a este método, abarcando algunas aplicaciones específicas. Se proporcionan tablas de criterios a seguir así como parámetros necesarios que se deben de considerar al diseñar una unidad de flotación. Se presentan, así mismo, las ecuaciones de diseño básicas ya desarrolladas para entender la teoría de la flotación y se presentan las gráficas indispensables para hacer la estimación de costos del equipo.

Utilizando toda la información anterior, se llega a concluir una serie de factores en cuanto a la realización de este trabajo, así como también se exponen las ventajas y las desventajas de usar este proceso de Flotación con Aire Disuelto para Tratamiento de Aguas Residuales.

## II. ANTECEDENTES DE LA FLOTACION.

3

A principios de este siglo, el proceso de flotación se uso exclusivamente en la industria minera para la concentración de metales (29). La primer patente acerca del proceso de flotación, fué editada en 1903, consistía en un método para separar materiales no metálicos, se concentraba por este método, mas o menos el 90 %. Mas tarde cuando este proceso se utilizó para tratar aguas residuales se le llamó "espuma-flotación". En este caso, el aire se suministraba bajo presión a través de difusores o por medios mecánicos, de donde obtuvieron por conclusión, que el tamaño y dispersión de las burbujas de aire dependen de el volúmen de aire introducido y de la velocidad del agitador.

La industria de papel escandinava hacia 1920, desarrolló un proceso de flotación para recuperación de fibras de papel que contenían las aguas de deshecho, provenientes de la máquina formadora de papel.

En años mas recientes, la flotación ha sido aplicada al tratamiento de otro tipo de aguas residuales, no tanto para recuperar materias importantes para el proceso, sino también con el propósito de reducir la contaminación de las corrientes y la conservación de las mismas; por lo que se han utilizado diversos tipos de unidades de flotación, de acuerdo con la naturaleza del agua residual que se vaya a tratar.

Desde 1957, se le prestó especial atención a las unidades de flotación como un método de concentración, las cuales vienen a sustituir a los tanques de concentración por gravedad, debido al ahorro de tiempo que se obtiene con el proceso de flotación.

Dentro de los estudios de laboratorio que se han efectuado con el método de flotación con aire disuelto se mencionan a continuación algunos de ellos.

- El metodo desarrollado para separar algas unicelulares, las cuales

se reproducen frecuentemente en las aguas de desechos industriales<sup>4</sup> y constituyen un serio problema; los parámetros, así como el equipo utilizado son de naturaleza específica para este caso (14).

- El procedimiento para flotar cromo hexavalente en forma de cromato y/o dicromato que se encuentra en una gran variedad de aguas residuales, en especial de aquellas industrias que ofrecen acabados metálicos (18).

- La técnica para separar aire-surfactante-colector, el uranio que se encuentra disuelto principalmente en el agua de mar, utilizando como surfactante aniónico el dodecil sulfato de sodio (23).

- Los estudios realizados en el sur de África, para tratar aguas de deshecho que contengan materia orgánica suspendida, como son las aguas procedentes de las fábricas empacadoras de carne. Con estos estudios se obtuvieron resultados favorables al proceso de flotación con aire disuelto (34).

- J. Gruspier en 1957, efectuó un estudio sobre flotación con aire determinando en el laboratorio la factibilidad de usar este método para clarificar lodos biológicos, introduciendo el aire dentro de la unidad de flotación.

Este método de flotación con aire disuelto para tratar efluentes, se puso en práctica en las fábricas de automóviles, ya que sus aguas residuales contenían aceites y grasas suspendidas, solo que además se utilizan floculantes (2), (16).

Las grasas suspendidas y aceites se encuentran también en las aguas residuales de las refinerías, además contienen sólidos suspendidos DQO\*, DBO\*\* y desechos sanitarios, por lo que para el tratamiento de este tipo de efluentes se combinan varios métodos.

\* Ver Apéndice 2.

\*\* Ver Apéndice 1.

5  
Uno de los procesos desarrollados con éxito, es el efectuado en la refinería de Filadelfia E. U. (28), pues combaten efectivamente el problema que tenían, en cuanto a la contaminación del río Schuyikill, además recuperan materias primas y el agua se puede volver a utilizar después del tratamiento; el mismo propósito persiguen las refinerías instaladas en California (25) y en los sitios donde se hacen estudios en plantas piloto, con ello se pueden hacer evaluaciones comparativas en cuanto al proceso de flotación con aire disuelto en separadores API\* (27); este tipo de separadores con ciertas modificaciones, son los que se utilizan en las refinerías cercanas al Lago Michigan (13), para dar a las aguas residuales un tratamiento terciario; las pruebas muestran que la demanda química de oxígeno y la demanda biológica o bioquímica de oxígeno, pueden ser eliminadas de las aguas residuales de las refinerías, por el proceso de flotación con aire disuelto (33).

Esencialmente, el proceso de flotación, trabaja para producir diferencias de densidades, suficiente entre dos fases para obtener el grado requerido de separación. Esto se lleva a cabo por introducción de burbujas gaseosas dentro de la fase líquida, por cualquiera de los siguientes métodos (10).

- Flotación con aire disuelto; en el cual el aire es inyectado dentro del líquido bajo presión, a lo que sigue la liberación del aire.
- Flotación con aire; lo que significa aeración a presión atmosférica.
- Flotación con vacío; el líquido es saturado con aire a presión atmosférica y entonces es cuando se aplica el vacío.
- Electroflotación; proceso que consiste en generar burbujas por electrólisis (9).

\* Ver Apéndice 3.

6

Dentro del método de flotación con aire disuelto, se encuentra una variante: la microflotación, proceso desarrollado en Suiza, que combina los beneficios de la floculación química con un método simple generador de burbujas de aire, el cual permite la eliminación de impurezas de tamaño coloidal, (ácido húmico, sílica, poliestireno y bacterias) (7). La técnica para medir el tamaño de la burbuja en la microflotación, fue introducida en 1965, (8) y puede distinguirse del proceso de flotación, por requerir muy baja velocidad de flujo de aire, extremadamente pocas burbujas y heterocoagulación de la dispersión coloidal con hidróxido metálico.

De los métodos mencionados anteriormente, los que últimamente han tenido mayor uso, son la electroflotación y la microflotación.

El método de electroflotación es específico para velocidades de flujo menores de  $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ , mientras que la importancia de la microflotación radica en que el tamaño de la burbuja puede ser controlado, lo que es difícil en el proceso de flotación convencional (10).

El método de electroflotación es de interés por las siguientes razones: (a) las placas de los electrodos, se pueden acondicionar para proveer de una buena cubierta el área superficial del tanque de flotación, esto es con el fin de lograr una mezcla uniforme entre el efluente y las burbujas de gas; (b) se forma una gran cantidad de pequeñas burbujas habiendo un mínimo de turbulencia; (c) el gradiente del campo eléctrico entre los electrodos ayuda a la floculación de los sólidos existentes; y (d) la producción del gas y el tiempo de residencia se controlan fácilmente.

La unidad utilizada para este método consiste de un tanque rectangular con un par de electrodos situados cerca de su base.

El cátodo está situado arriba del ánodo. Cuando la corriente directa fluye entre los electrodos, se forman burbujas de oxígeno en el ánodo y otras de hidrógeno en el cátodo, estas se elevan a la superficie, a

arrastrando a las partículas suspendidas. La capa de sólidos flotados puede entonces ser eliminada.

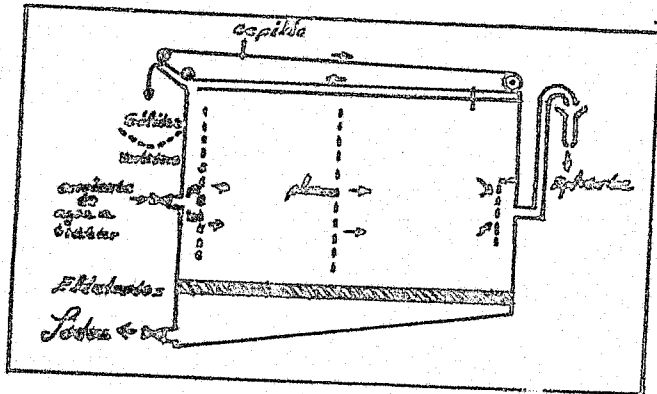
El material de los electrodos debe tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas. El acero inoxidable es útil para muchas soluciones esta limitado a las soluciones alcalinas. El dióxido de plomo tiene alta resistencia a la oxidación, pero no es muy fuerte cuando es compacto. El titanio sirve como un soporte, por lo que se desarrolló una forma de depositar dióxido de plomo sobre titanio, resultando un ánodo resistente. Su tiempo de durabilidad depende de el tipo de efluente a tratar y de su composición. Este tipo de electrodos solucionó el problema de el costo del equipo que antes era mas caro, debiéndose al costo del material de los electrodos.

En este proceso, así como en el de microflotación se utiliza como floculante el Sulfato de aluminio, para ajustar el pH (8.5 es el óptimo para el proceso de flotación con aire) se utiliza ácido sulfúrico o una mezcla de ácido nítrico y ácido fluorhídrico.

Una unidad de microflotación común, trata  $80 \text{ m}^3/\text{hr}$ . y funciona de la siguiente manera:

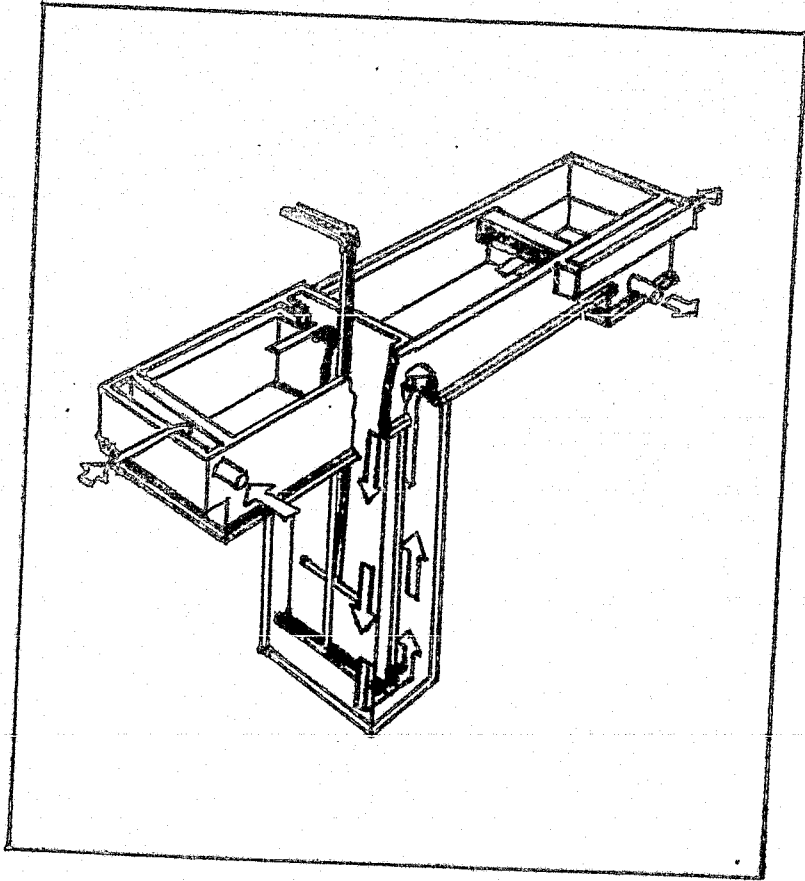
Después de que se eliminan los sólidos de tamaño mayor al permitido, se ajusta el pH y se adicionan los floculantes químicos, entonces el agua residual a tratar fluye por el pozo, el que puede ser hundido dentro de la base, dependiendo de las condiciones del sitio en el cual se instale la unidad. El aire inyectado en la base del pozo se disuelve bajo presión hidrostática, aerando la corriente de alimentación. El pozo esta dividido para separar el agua que desciende, de el agua que se eleva dentro del tanque de flotación. El aire no disuelto se eleva contra la corriente de agua que desciende y esto incrementa la saturación del agua. El agua que asciende por el otro lado del pozo esta por tanto saturada de aire, pero libre de burbujas de aire no disuelto. Como la presión hidrostática desciende, el aire disuelto

es liberado como burbujas microscópicas que atacan a los sólidos. Las impurezas flotadas pisan directamente al tanque de flotación donde flotan a la superficie y son eliminadas. Se puede adicionar polielectrolitos para mejorar la hidrofobicidad de los sólidos.



Unidad de Electroflotación.

Unidad de Microflotación.



### III. CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS UNIDADES DE FLOTACION.

La teoría de la flotación se basa en el hecho de que la cantidad de aire que se disuelve en el líquido, es directamente proporcional a la presión absoluta (12). Por ejemplo al nivel del mar y a temperatura de 70°F, el agua disolverá aproximadamente 2 % de el aire por volumen; cuando la presión se aproxima a la atmosférica, el volumen de aire o gas presente cercano a la saturación, es liberado, dejando la solución en forma de burbujas extremadamente finas, estas burbujas se unen a la materia suspendida presente en el agua de deshecho y las conducen hacia la superficie, para más tarde ser eliminada.

Los parámetros para todo proceso de flotación están basados en (10):

- a) El grado de adhesión de una partícula típica para ser eliminada y el tamaño promedio de la burbuja presente.
- b) La flotabilidad de la partícula con la burbuja a la que se une.

Desafortunadamente muy pocos datos están disponibles y en la práctica se obtienen de pruebas en el laboratorio y en plantas piloto. Es importante hacer notar que mucho depende de la composición y variabilidad de los efluentes.

Los parámetros de diseño más importantes que se han determinado en plantas piloto (13), se encuentran en la tabla 1, así como los parámetros de diseño para las unidades en tamaño natural.

La velocidad de flujo total, gal/min/pie<sup>2</sup>, es un parámetro significativamente diferente, en las unidades de tamaño natural; este parámetro, podría no ser compensado de una manera adecuada para cierta escala debido a las dimensiones físicas de las cajas de los separadores diseñadas por el API. Sin embargo una velocidad de flujo total de 3.8 gal/min/pie<sup>2</sup>, no se considera crítica, ya que las velocidades de unidades comerciales normalmente son de 4 gal/min/pie<sup>2</sup>.

TABLA 1.  
Parámetros de diseño para flotación con aire disuelto.

	Unidad piloto	Diseño tamaño natural
Velocidad de alimentación (gal/día)	16 000	30 000 000
Presión del aire recirculado (% de alimentación)	26	25
Flujo total (gal/min/pie <sup>2</sup> )*	1.22	3.8
Presión de saturación de aire (lb/pulg <sup>2</sup> )	50	50
Aluminio utilizado (partes/millón)	30-50	30-50
Polielectrolito utilizado (partes/millón)	0.2	0.2
Velocidad del floculador, circunferencial, (pie/seg)	1.3	1.0-3.0
Tiempo de retención del floculador, (min)	11.8	18.0
Tiempo de retención de flotación, (min)*	13.7	19.5

\* Basado en una velocidad de alimentación, más 25% de recirculación.

Es importante tener en cuenta la masa de aire que se introduce a la cámara de flotación ya que el método que se elija para introducirlo influye en el proceso directamente, J. Bratby y G v R. Maraise (5), proponen tres métodos para determinar en el proceso de flotación, la masa de aire que se disuelve en la cámara; de este trabajo se obtuvieron gráficas para determinar la masa de aire disuelto, de acuerdo al tiempo de retención, o bien de acuerdo a la presión de la bomba centrífuga.

Cuando la corriente de agua a tratar proviene de una fábrica de papel, el sistema de flotación opera bajo condiciones bastante diferentes, de aquellas que se encuentran en la industria minera (Figura 1). En las aguas de deshecho de las máquinas de papel, el aire se disuelve en la corriente de deshecho, antes de que entre a la bomba centrífuga. El agua contiene aire disuelto a una presión de 30 a 60 psi, entonces se pasa a través de un tanque de retención para permitir la liberación de aire por medio de una válvula de alivio. Después del tanque de retención, la mezcla de aire disuelto en el efluente que esta bajo presión, ( lleva aire que no ha tenido oportunidad de escapar), es admitida en el tanque de flotación por medio de una válvula de control. Así el efluente entra al tanque de flotación y el aire disuelto es liberado debido a la caída de presión y las burbujas se unen a la materia sólida, quienes la conducen a la superficie, la mezcla de burbujas y partículas producen espuma, la cual, en el caso de la industria de papel, consiste de fibras de celulosa en su totalidad.

Muchas aguas residuales incluyen desperdicios que contienen materia orgánica casi en forma floculada para lo cual se puede utilizar un sistema como el mostrado en la figura 2. con recirculaci-

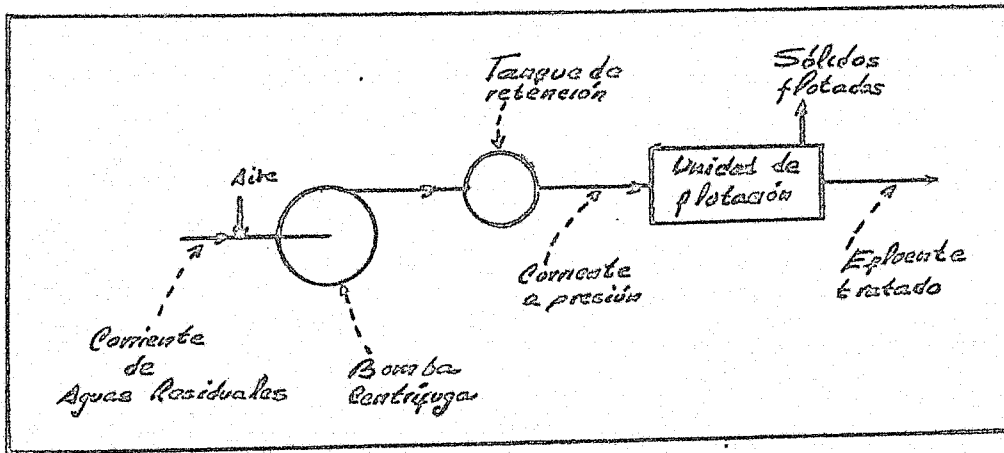


Figura 1.

Diagrama de flujo de un sistema de flotación usando presión completa.

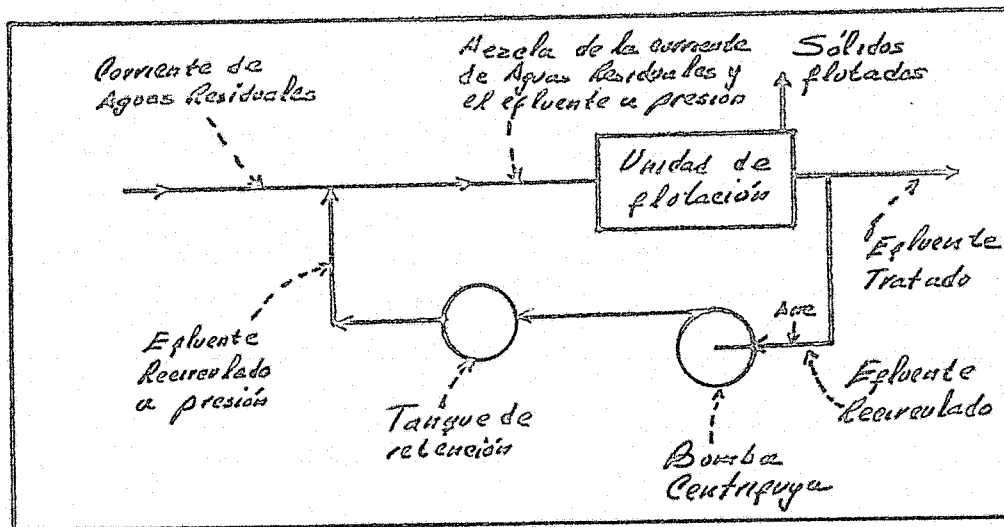


Figura 2.

Diagrama de flujo de un sistema de flotación usando efluente a presión y recirculado.

ción después de la unidad de flotación. Debido a que existen los agregados y pueden romperse por efecto de la bomba, este tipo de unidades introducen el aire directamente en el efluente y no en la corriente que entra al sistema (29); por lo que para este tipo de efluentes con materia orgánica disuelta, se tienen los siguientes criterios de diseño, recomendados por Beychock (4).

---

tiempo de retención en el tanque de flotación.	-----15 a 20 min. de flujo total mas la corriente recirculada.
Velocidad de elevación en el tanque de flotación,	-----3 gal/min/pie <sup>2</sup> de líquido superficial, basado en el flujo total.
Velocidad de recirculación.	-----50% de la velocidad de la corriente de entrada (33% de flujo total).
floculantes.	-----cerca de 25ppm. basado en el flujo total.
Velocidad del aire.	-----0.25 - 0.5 PCS/100gal i de flujo total.

---

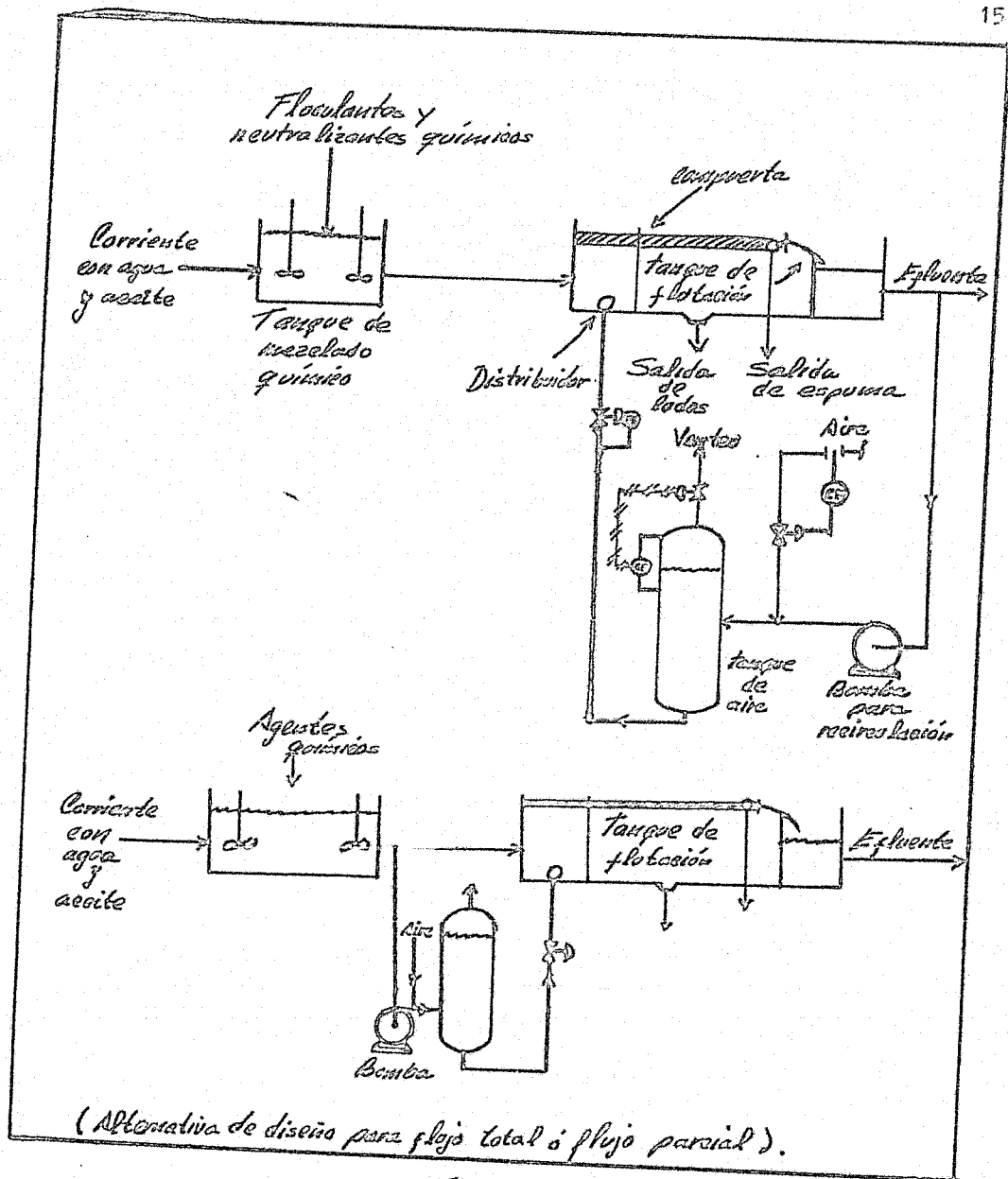
Para los sólidos suspendidos en los efluentes que provienen de las plantas productoras de acetileno, se utiliza la misma técnica de flotación con aire disuelto que se utiliza en la industria minera (11).

La literatura contiene un buen número de excelentes publicaciones, que utilizan el proceso de flotación con aire disuelto para tratar las aguas de deshecho de las refineries. Así algunas de estas publicaciones dan las ventajas de usar este método con una presión de 30 a 40 psig en el agua de deshecho, para una planta piloto (28), dicha unidad tiene una capacidad de 10 a 25 gpm. y en ella B.R. Roth, J. A. Ludwig y J.A. Hall trabajan muchas varia-

bles, como el pH, cantidad de floculante, tiempo de retención, etc. De la misma manera G. A. Roligh, trabaja con un sistema de flotación con aire disuelto con recirculación (27), usando un arreglo de flujo vertical en la cámara de flotación; también utiliza otros sistemas, como son los sistemas de flotación con recirculación, usando cámaras diseñadas por el API.

La figura presenta un diagrama de flujo típico para una unidad de flotación de aire con recirculación y también presenta el diagrama para la alternativa de presión total o parcial del flujo (3). La explicación de la figura 3, es la siguiente:

Las sustancias químicas que se agregan para formar conglomerados y las que controlan el pH, se mezclan dentro de la corriente de alimentación. Este mezclado se efectúa tan rápido como es posible. La corriente de alimentación se descarga dentro de el tanque de flotación; parte del efluente clarificado del tanque de flotación se bombea para recircularlo, el aire se inyecta bajo presión en la corriente recirculada y esta se mantiene en un tanque bastante grande para lograr el equilibrio de saturación del aire. El exceso de aire se libera hasta mantener un nivel del líquido en el tanque del aire. La corriente recirculada saturada de aire, se pasa a través de una válvula al tanque de flotación. La corriente recirculada puede entrar al tanque de flotación abajo de la entrada de la corriente de alimentación, para que las burbujas de aire se pongan en contacto con la corriente que entra. El tanque de flotación puede ser equipado con compuertas, para mezclar y distribuir el flujo total. Este tanque también requiere de un equipo mecánico, para eliminar continuamente la capa de espuma en la parte superior y otro para eliminar los sólidos que se forman en el fondo del tanque. El aire se suministra a través de un tubo de distribución, el cual puede ser un tubo de distribución de tipo "T" o un tubo de distribución de tipo "Y". El aire se suministra a través de un tubo de distribución de tipo "T" o un tubo de distribución de tipo "Y".



(Alternativa de diseño para flujo total o flujo parcial).

Figura 3.

Unidad típica de flotación con aire disuelto (con recirculación)

se incinera.

La tabla 2 recomienda unos bases de diseño para unidades con recirculación, como la descrita anteriormente (3).

A. C. Gray Jr. (17), reporta algunos criterios de diseño típicos para tratamiento de aguas de deshecho que contengan aceites, los parámetros de diseño, para las diferentes operaciones en este tipo de aguas de deshecho, variará naturalmente de acuerdo con las cualidades del efluente a tratar; así, la tabla 3 presenta un resumen de los criterios de diseño para corrientes de deshecho con aceite. Este sistema describe el empleo de unidades de separación por floculación y por flotación con aire.

La figura 4. muestra tres tipos de sistemas de flotación con aire disuelto, representando los procesos básicos de una manera esquemática. El primero de ellos es aeración directa, donde a la corriente que entra se le proporciona aire a presión y después pasa al tanque de flotación. En la aeración parcial, una fracción de la corriente que fluye, esta sujeta a aire a presión, mientras que la otra porción es enviada directamente al tanque de floculación.

Este diagrama de flujo ofrece costos mas bajos en la aeración directa, sin embargo es mas eficiente la aeración parcial y mas aun cuando se usa recirculación del efluente, pues funciona para aguas residuales que contienen una concentración alta de sólidos suspendidos. Este último diagrama es el que mas se utiliza actualmente, dada su eficiencia, en este caso una corriente lateral de el efluente clarificado es impulsado, mientras que la corriente principal fluye directamente al tanque de floculación. La recirculación impulsada es llevada al tanque de flotación donde se mezcla con el agua de deshecho floculada y entonces se lleva a cabo la flotación.

El sistema con recirculación, ofrece ventajas decisivas sobre los otros si temas de flotación con aire disuelto.

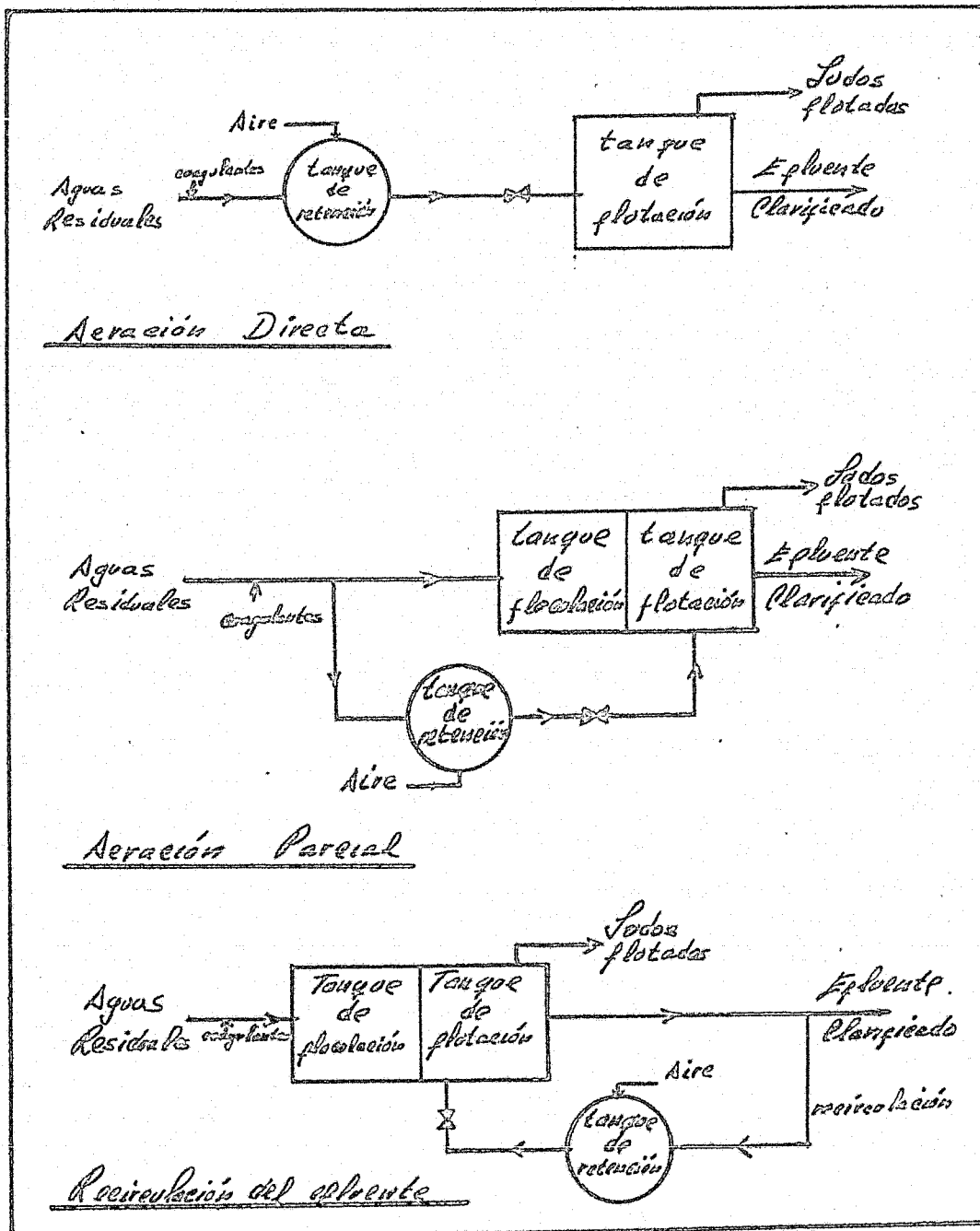


Figura 4.

Tres tipos de sistemas de flotación con aire disuelto.

TABLA 2.

Bases de diseño para unidades de flotación con aire disuelto.

Velocidad de recirculación	50% de la velocidad de la corriente de entrada (33% de la velocidad de alimentación total)
Presión en el tanque de aire	35 - 55 psig.
Tiempo de retención en el tanque de aire,	2 min. del flujo recirculado (desde el nivel del líquido hasta el fondo del tanque).
Tiempo de retención en el tanque de flotación	15-20 min de flujo total (mas la corriente de recirculación)
Velocidad de elevación en el tanque de flotación	3.0 gal/min del flujo total por pie <sup>2</sup> de líquido en la superficie.
pH	7.5 - 8.5
Floculantes químicos	25 ppm de aluminio en el flujo total.
Velocidad del aire	0.25 - 0.5 PCS/100gal de flujo total.
Profundidad del líquido en el tanque de flotación	6 - 8 pies (fijados por los requisitos anteriores).

---

Nota: 0.25 PCS/ 100gal flujo total = 0.75 PCS/ 100 gal recirculación  
 = 68 ppm de aire en la recirculación.

Solubilidad en equilibrio a 95°F y 35 psig = 68 ppm (peso).

0.5 PCS/100gal flujo total = 136 ppm de aire en recirculación.

Solubilidad en equilibrio a 95 y 55psig = 95 ppm (peso).

Tabla 3.

Criterios de diseño típicos para tratamiento de desechos que contienen aceite.

<u>Unidad</u>	<u>Tiempo de retención</u>	<u>Velocidad Superficial gal/día/pie</u>	<u>Lodos</u>
tanque de mezcla química.	2-10 min	--	--
tanque de floculación.	30-90 min	--	--
F.A.D. clarificador	10-40 min	1500-7500	5-20
Sedimentador (opcional)	24-48 hrs	400-900	12-30

<u>Químico</u>	<u>Rango de dosis</u>
Alumbre	100-750 MG/L
Cal	200-1000MG, L
Polimero orgánico	0.5 - 2.0 MG/L
Carbón activado	50 -500 MG/L

Existe un método para medir la cantidad de materia que se flota durante el proceso (19). Este método abarca todo tipo de substancias flotables, incluyendo grasas o aceites; dicho método requiere un aparato especial y su uso tiene importancia a nivel industrial ya que por medio de él se puede determinar la eficiencia de los diferentes procesos de flotación y de ahí elegir el mas adecuado para el agua de deshecho a tratar o cuando el proceso de flotación se utiliza para concentrar materiales.

En el proceso de electroflotación, la cantidad de gas requerida esta gobernada por el área de los electrodos y por la cantidad de corriente que se le suministra.

Para la microflotación, el tamaño de fuelle o ventilador es el que regula la cantidad de aire y la velocidad a la que se disuelve en el efluente.

Bajo condiciones típicas, los sólidos y las cargas hidráulicas para electroflotación y microflotación son ampliamente similares. La carga de sólidos varía de 0.3 a 10 Kg/m<sup>2</sup>-h y la carga hidráulica de 1 a 7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-h ambos expresados en términos de el área superficial de el tanque de flotación. Los valores mas bajos pertenecen a materiales mas difíciles de flotar, de ahí que los valores superiores son aplicables a materiales como fibras. Los tiempos de retención son menores a 30 minutos para ambos sistemas cuando se trata de sólidos fácilmente flotables. Brian Cooke (9), tomando en consideración los datos experimentales afirma, que la electroflotación puede trabajar donde la flotación con aire disuelto no lo hace debido al tamaño de la partículas a flotar.

Es importante tener en consideración que si los sólidos a flotar, no son lo suficientemente grandes para ser flotados solo con las burbujas de aire, se le entregan floculantes a la corriente, con el fin de dar a las partículas que faciliten el proceso de flotación. La ayuda

de estos floculantes no es necesaria en la electroflotación, así como tampoco la recirculación de una parte del efluente tratado, que debe tener cierta claridad para no dañar al equipo.

En síntesis, para la elección y diseño de un sistema de flotación con aire disuelto, se deben hacer las siguientes consideraciones (25):

- Se debe disolver la cantidad máxima de aire en la corriente que entra al sistema.
- La eliminación de todo el aire que produzca turbulencia y remolinos en la cámara de flotación.
- El diseño adecuado desde el punto de vista hidrodinámico, de todo el sistema de flotación, en especial de la cámara.
- La selección adecuada de el coagulante y generadores de agregados químicos (si se requieren), siempre teniendo en cuenta el mas económico, así como el mas eficiente de ellos.
- La eliminación mecánica continúa de aceites o agregados, de la superficie de el agua, en la cámara de flotación.
- El diseño de todo el sistema para producir una unidad completamente automática dentro de un rango de operación, la cual requiera de la mínima cantidad de personal para su operación.

Eficiencias típicas de tratamiento de desechos por medio de flotación con aire disuelto.

Tipos de desechos.	Sólidos suspendidos en la corriente de entrada. ppm.	Reducción obtenida, en %.	DBO en la corriente de entrada ppm.	Reducción obtenida, en %.
Refinerías	441	95.0		
Mantenimiento de ferrocarriles.	500	95.0		
Empacadoras de carne.	1400	85.6	1225	67.3
Fábricas de papel.	1180	57.5	210	62.6
Procesadoras de aceite vegetal	890	94.8	3048	91.6
Enlatadora de frutas y vegetales.	1350	80.0	790	60.0
Fábricas de jabón.	392	91.5	309	91.6
Aguas cloacales.	6448	96.2	3399	87.0
Tratamiento de aguas residuales primarias.	252	69.0	325	49.2
Fábricas de adhesivos.	542	94.3	1822	91.8

Esta tabla muestra los resultados típicos obtenidos de muestras de varios de heces industriales tratadas por flotación con aire disuelto, muestra las reducciones de sólidos suspendidos y de DBO en los rangos de 69 a 96.2 y 60 a 91.8 respectivamente (24°).

#### IV. ECUACIONES DE DISEÑO.

23

La separación sólido-líquido puede lograrse por gravedad o por medios de inducción, como lo es la flotación con aire disuelto. Los mecanismos y fuerzas directoras involucradas son similares a aquellas encontradas en sedimentación.

Howe (20), hizo una interpretación matemática de la flotación para separación sólido-líquido, partiendo de la Ley de Stokes para partículas sedimentadas y desarrolló ecuaciones para describir la flotación de pequeñas partículas; este trabajo se presentó en julio de 1957.

Para entender la teoría de flotación con aire disuelto (24), es necesario investigar las fases gas, líquido y sólido, así como también la forma en que se ponen en contacto entre sí. La Ley de Henry proporciona la relación entre la solubilidad del gas (en este caso aire disuelto), y la presión total.

$$C = k p$$

donde C es la concentración del gas en la solución, k es la constante de la Ley de Henry, y p es la presión absoluta de la solución en el equilibrio.

El tiempo de retención en las cámaras de retención es un factor crítico, debido a los grandes volúmenes de agua que se tratan. El tiempo de retención, a su vez depende directamente de la velocidad de elevación de las burbujas de aire en el agua; esto se expresa por la Ley de Stokes, la cual es útil para partículas que tienen un diámetro menor de 130 micrones

$$V = k D$$

donde V es la velocidad de elevación de las burbujas (pie/min), k es el factor de conversión de Stokes (esta incluye todos los factores que afectan la elevación o caída de las burbujas, tales como densidad o viscosidad del líquido, pero no incluye la viscosidad

de la burbuja) y  $D$  es el diámetro de la burbuja de aire. La relación de Stokes se muestra cuantitativamente en la figura 5.

Teniendo en cuenta que las partículas tienen un tamaño lo suficientemente grandes para no ser afectadas por el movimiento browniano y las fuerzas electrostáticas y considerando que la zona de flotación está libre de turbulencias, las partículas tienden a comportarse de acuerdo con la siguiente Ley de Stokes, desarrollada por Frazen y Grutsch (13).

$$V_t = g \frac{(d_w - d_a) D^2}{18 u}$$

$V_t$  = velocidad terminal del agregado aire- sólido, (pie/seg)

$d_w$  = densidad del agua, (lb/pie<sup>3</sup>).

$d_a$  = densidad de los agregados aire- sólido, (lb/pie<sup>3</sup>).

$D$  = diámetro de los agregados, aire-sólido, (pie).

$u$  = viscosidad del líquido (lb/pie<sup>3</sup>).

$g$  = constante de gravedad, (pie/seg<sup>2</sup>).

Para que el proceso de flotación se lleve a cabo, es necesario que el valor del término  $(d_w - d_a)$  sea mayor que cero.

La elevación varía directamente con el cuadrado de el diámetro de el agregado aire- sólido, e inversamente con la viscosidad del líquido. El diámetro de los agregados puede incrementarse fácilmente por medio de la coagulación química o floculación. Por tanto las partículas floculadas atraparán y retendrán mas aire que las partículas individuales.

Cuando el valor de  $V_t$  es positivo, la dirección del agregado es hacia abajo (sedimentación). De ahí que cuando su valor es negativo el agregado se separara hacia arriba, por lo tanto,  $d_a$  mayor que  $d_w$ .

Por otra parte se puede agregar, que las burbujas de aire au-

Velocidad de elevación de las burbujas, pie/min

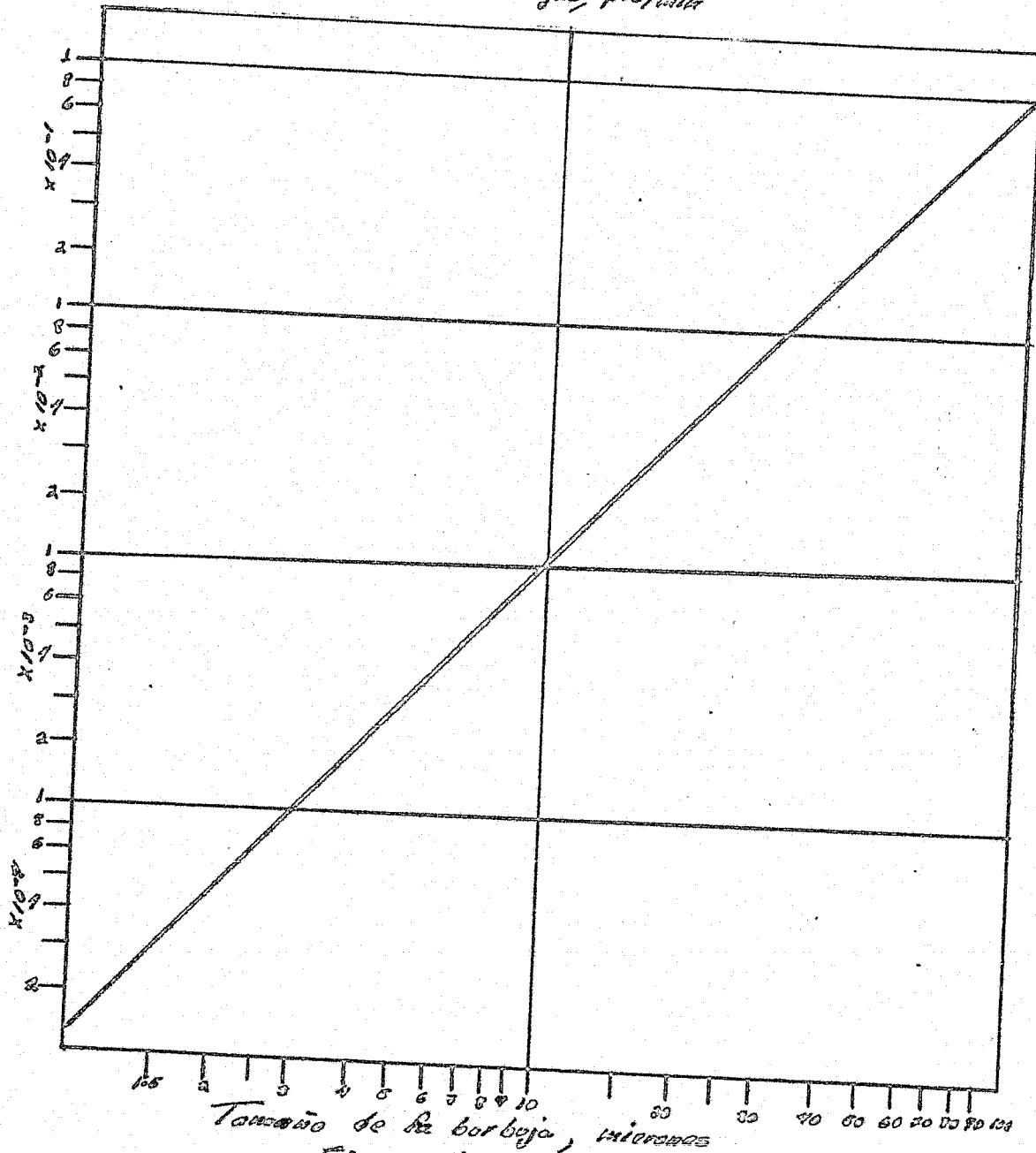


Figura 5

Velocidad de elevación de las burbujas de aire en la corriente de agua (calculada por medio de la ley de Stokes) como una función de el tamaño de la burbuja (micras).

mentan la diferencia de densidades entre el agregado y el medio, las cuales a su vez aumentan la velocidad de separación de los sólidos, así se forma una capa en la superficie, integrada por una mezcla de sólidos y burbujas de aire.

Tomando en cuenta la Dinámica de partículas, (25'), existe un movimiento relativo entre una partícula y un fluido que se encuentra a su alrededor, el fluido ejercerá una fuerza de arrastre, sobre la partícula, esta fuerza esta dada por:

$$F_d = \frac{C A_p d u^2}{2 g_c} = \text{Lb fuerza}$$

donde:

$C$  = coeficiente de arrastre adimensional.

$A_p$  = Area proyectada por la partícula en dirección del movimiento ( $\text{ft}^2$ ).

$d$  = densidad del fluido ( $\text{lb}/\text{pie}^3$ ).

$u$  = velocidad del fluido ( $\text{ft}/\text{seg}$ ).

$g_c$  = constante,  $32.17 \frac{\text{lb-ft}}{\text{lb-sec}^2}$

Excepto para efectos extraños tales como turbulencia, no existe diferencia si el fluido se mueve y la partícula permanece inmóvil; o la partícula se mueve a través del fluido. Una partícula que cae bajo la acción de la gravedad, será acelerada por una fuerza de arrastre hasta que se equilibre con la fuerza gravitacional, después de lo cual continuará cayendo a una velocidad constante, conocida como velocidad terminal o velocidad de libre sedimentación ( $v_t$ ).

Las partículas fluidas, difieren de las partículas sólidas en que la circulación interna y la deformación de las partículas se puede llevar a cabo (32). Ambos afectan el coeficiente de arrastre y la velocidad terminal. Las burbujas toman una forma esférica cuando el número de Reynolds varía entre 1 y 100, pero la circulación interna se traduce en una reducción en el arrastre o en un in-

cremento en la velocidad terminal (arriba de 50 % en la región de la Ley de Stokes). A números mayores de Re, las burbujas asumen una forma normal a la dirección del flujo, que esta acompañada por un incremento en el arrastre.

El movimiento en las burbujas deformadas de esta manera, es generalmente no estable y sujeto a oscilaciones. Las burbujas de una pulgada de diámetro o mayores, alcanzan una velocidad máxima cercana a 1.25 ft/seg en el agua, las burbujas mas grandes se deforman muchísimo mas o se rompen.

El número de Reynolds esta dado por:

$$N_{Re} = \frac{D \bar{v}}{\nu} = \frac{D \bar{v} \rho}{\mu}$$

- D = Diámetro de la partícula.
- $\bar{v}$  = velocidad media.
- $\nu$  = difusibilidad de cantidad de movimiento.
- $\mu$  = viscosidad absoluta.
- $\rho$  = densidad del fluido.

Debido a que la flotación depende en gran parte de el tipo de superficie de la materia a flotar, las pruebas del laboratorio y plantas piloto deben ser generalmente ejecutadas para producir el criterio de diseño necesario, factores que debenser considerados en el diseño de unidades, incluyendo la concentración de l s partículas, cantidad de aire utilizado, la velocidad alcanzada por la partícula y velocidad de sedimentación de los sólidos.

La realización de un sistema de flotación con aire disuelto, depende principalmente de la relación de libras de aire a libra de sólidos requeridos por lograr un grado de clarificación. Este variará con cada tipo de fuente y debe ser determinado experimentalmente us nio células de flotación en el laboratorio. La relación típica de aire a sólido (A/S) encontrada en la etapa de leucos e plantas de tra-

tamiento de aguas, varía de 0.003 a 0.060 (24%).

Las relaciones entre la razón A/S y la solubilidad del aire, la presión de operación y la concentración de lodos sólidos para sistemas en los cuales todo el flujo de somete a presión, están dadas en la siguientes ecuaciones:

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 S_a (f P - 1)}{S_a}$$

donde

S<sub>a</sub>; solubilidad del aire, cc/litro.

temp °C	S <sub>a</sub> , cc/litro
0	29.2
10	22.8
20	18.7
30	15.7

f; fracción de aire disuelto a presión P, generalmente a 0.5

P; presión, atmósferas (atm).

$$P = \frac{p - 14.7}{14.7}$$

p; presión manométrica

S<sub>1</sub>; lodos sólidos mg/litro

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 S_a (f P - 1) R}{S_1 Q}$$

donde

R; flujo que se recircula.

Q; flujo de la mezcla, mdd.

En ambas ecuaciones el numerador representa el peso de aire y el denominador el peso de los sólidos. El factor 1.3 es el peso en miligramos de 1 cc de aire y el término (-1) en la cantidad entre paréntesis para cuando el sistema es operado a condiciones atmosféricas. El uso de estas ecuaciones ilustrada en el siguiente ejemplo. El área requerida del espesor es determinada considerando el incremento de

velocidad de 0.2 a 4 gpm/pie<sup>2</sup>, dependiendo de la concentración de sólidos, el grado de consistencia requerido y la velocidad de los sólidos que se sedimentan.

Para establecer un criterio en cuanto a costos para el proceso de flotación con aire disuelto, es necesario compararlo con otros métodos de separación.

Es importante considerar dos factores para hacer la evaluación, estos son: costos de instalación y costos de operación(29).

Estableciendo la comparación entre el proceso de sedimentación y el de flotación con aire disuelto, este último tiene la ventaja de que requiere aproximadamente un sexto del área total de un tanque de sedimentación para dar el mismo grado de eliminación durante 20 minutos y una velocidad de flujo total de 2 gmp/pie<sup>2</sup>. Además los tanques de sedimentación son casi siempre de concreto y se construyen en un tiempo determinado, mientras que las unidades de flotación pueden construirse con láminas de metal e instalarse directamente, por tanto se obtiene un ahorro considerable en cuanto a costo de instalación y construcción.

Los costos de operación de las unidades de flotación incluyen el costo relativamente bajo de la fuerza de bombeo. Este factor en algunos casos puede llegar a limitar el uso del proceso para plantas pequeñas. Kalinske, (15) indica que el costo diario de la fuerza de bombeo, necesaria para trabajar 1 000 000 de galones por día, fluyendo a 25 psig, podría ser de \$7.000 a 0.02/kwh por lo que anualmente el costo será de \$ 2500. Sin embargo el considera la presión de bombeo total del sistema y se debe tener en cuenta que de 25 a 50% de la potencia puede ser proporcionada por la presión que lleva la corriente a tratar.

Haciendo la evaluación económica con respecto a costos de operación en relación a las unidades de sedimentación y las de flotación con aire disuelto, este último es mucho costoso ya que para el mismo volumen de efluente el costo del equipo de flotación es a-

preciablemente menor que para las unidades de sedimentación, la razón es que para el proceso de flotación con aire disuelto de velocidades de separación mucho mayores.

Los costos de operación para este proceso varían de acuerdo a la naturaleza de el agua de deshecho a tratar, al tipo y concentración de las sustancias químicas utilizadas y a la calidad que requerirá el efluente.

Una planta diseñada adecuadamente, para tratar efluentes con aire disuelto, requerirá un mínimo de mano de obra, para su operación (25).

Estas plantas están equipadas con válvulas de control de flujo las que, regulan la cantidad de flujo del agua de deshecho siendo tratada de acuerdo al nivel del tanque de suministro; válvula de control de flujo adicional, conectadas a la válvula principal de control de flujo, esta válvula regula la cantidad de flujo de las sustancias químicas que se agregan a la corriente, de una manera exacta; válvula automática de control de presión que regula el aire que se introduce a la cámara. Trabaja esta planta de 250 a 500 galones por minuto, requiere aproximadamente 3 horas hombre de atención por día. Esto incluye el tiempo requerido para mezclar las sustancias químicas y lubricar el equipo.

Un sistema típico de flotación con aire disuelto, consta esencialmente de los siguientes elementos:

Un tanque de mezclado, bomba centrífuga, tanque de saturación, Unidad de flotación e instrumentación.

En base a los curules se presentan las siguientes gráficas, todas excepto la gráfica de tanques de almacenamiento, a presión y de mezclado, son de 1968. La gráfica antes mencionada tiene fecha de enero de 1967. Con estas gráficas y por medio de los índices que aparecen en la Revista Chemical Engineering, se puede conocer el costo de equipo,

índices elaborados por Marshall & Swift, y se extrapola de la siguiente manera:

(Costos del equipo en 1968)(Índice de M & S 1977/Índice de M & S de 1968)

= Costo estimado del equipo en 1977.

H.G. Blecker, H.S. Epstein y T.M. Nichols, de Icarus Corporation (36), propusieron un procedimiento para escalar costos hacia el futuro y/o "mover" los datos de una localidad a otra; por ejemplo, para determinar el costo total de instalación para un determinado equipo, en la ciudad G, durante el segundo cuarto del año Z, teniendo los datos de la ciudad F, en donde ya se tiene funcionando una planta, se debe de calcular dicho costo de la siguiente manera:

-Costo de compra del equipo para el 2º cuarto del año Y.

-Costo del material (equipo menor) para el 2º cuarto del año Y.

- Costo de mano de obra para el 2º cuarto del año Z.

Siendo, año X, el primer período, cuando se tienen los datos base.

año Y, el segundo período, cuando se hacen las gestiones.

año Z, tercer período y último cuando se instala el equipo.

Para estimar el costo de compra del equipo para el 2º cuarto del año Y, se calcula como sigue:

(Costo del equipo en el 4º c del año X)  $\left( \frac{\text{Índice de M \& S en el 2º c del año Y}}{\text{Índice de M \& S en el 4º c del año X}} \right)$

= Costo estimado en el 2º c del año Y

esta ecuación es similar a la propuesta anteriormente en esta misma hoja por lo que el primer valor de al lado izquierdo de la ecuación, se obtiene de las gráficas correspondientes.

Para estimar el costo del material (equipo menor) para el segundo cuarto del año Y se calcula como sigue:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Costo total} \\ \text{de Inst. en} \\ \text{el 4}^{\circ} \text{ c del} \\ \text{año X.} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{Costo de compra} \\ \text{del equipo en el} \\ \text{4}^{\circ} \text{ c del año X.} \end{array} \right) -$$

$$\left[ \left( \begin{array}{l} \text{Mano de obra,} \\ \text{en horas-hom-} \\ \text{bre.} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{Sueldo en el lugar F} \\ \text{en el 4}^{\circ} \text{ c del año Y.} \end{array} \right) \right] \times$$

$$\left( \frac{\text{Indice de M \& S en el 2}^{\circ} \text{ c del año Y}}{\text{Indice de M \& S en el 4}^{\circ} \text{ c del año X}} \right) = \begin{array}{l} \text{Costo estimado} \\ \text{del material} \\ \text{en el 2}^{\circ} \text{ c del} \\ \text{año Y.} \end{array}$$

Entonces el costo de manó de obra para el 2<sup>o</sup> c del año Z se calcula de la siguiente manera:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Mano de obra} \\ \text{h-h, en el} \\ \text{4}^{\circ} \text{ c del año X} \end{array} \right) \left( \frac{\text{Productividad en el 4}^{\circ} \text{ c del año X}}{\text{Productividad en el 2}^{\circ} \text{ c del año Z}} \right) \times$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{Sueldo en la} \\ \text{ciudad G} \end{array} \right) = \begin{array}{l} \text{Costo estimado de} \\ \text{mano de obra en el} \\ \text{2}^{\circ} \text{ c del año Z.} \end{array}$$

Sumando estos costos se obtiene el costo de instalación de el equipo en un año diferente así como en otra localidad.

Para el equipo no contenido en estas gráficas, pero que se utiliza en tratamiento de efluentes, se utiliza la relación L/M, enlistados en la Tabla 5, estos datos están basados en el salario de la Costa del Golfo de U.S. (aproximadamente \$7.00/h-h en el 4<sup>o</sup> c de 1973), en la productividad de este mismo lugar (100%), y el costo del material en el 4<sup>o</sup> c de 1973 (Indice de M & S = 350).

Para separar los elementos labor y material (L/M) de la Tabla 5, se utiliza el siguiente procedimiento: por ejemplo para un intercambiador iónico, L/M tiene un rango de 0.579 a 0.652 (Tabla 6, unidades grandes a pequeñas). Suponiendo que se quiere determinar el costo de instalación en el Sur de Filadelfia de un gran intercambiador iónico, con un costo de \$27000. en el 4<sup>o</sup> c de 1973, y teniendo que el costo del mate-

rial para intalar es de \$ 18 000 en el 4<sup>o</sup> de 1973. La instalación se hará en el 2<sup>o</sup> de 1975. Usando un L/M de 0.579, se calcula el costo de trabajo o labor por medio de la siguiente ecuación:

$$(L/M) (\text{Costo del equipo} + \text{Costo del material}) \times \left( \frac{\text{Productividad en la costa del Golfo de U.S.}}{\text{Productividad en la localidad}} \right) \left( \frac{\text{Salario en la nueva localidad}}{\text{Salario en la costa de el Golfo de U.S.}} \right) = \text{Costo de la Labor.}$$

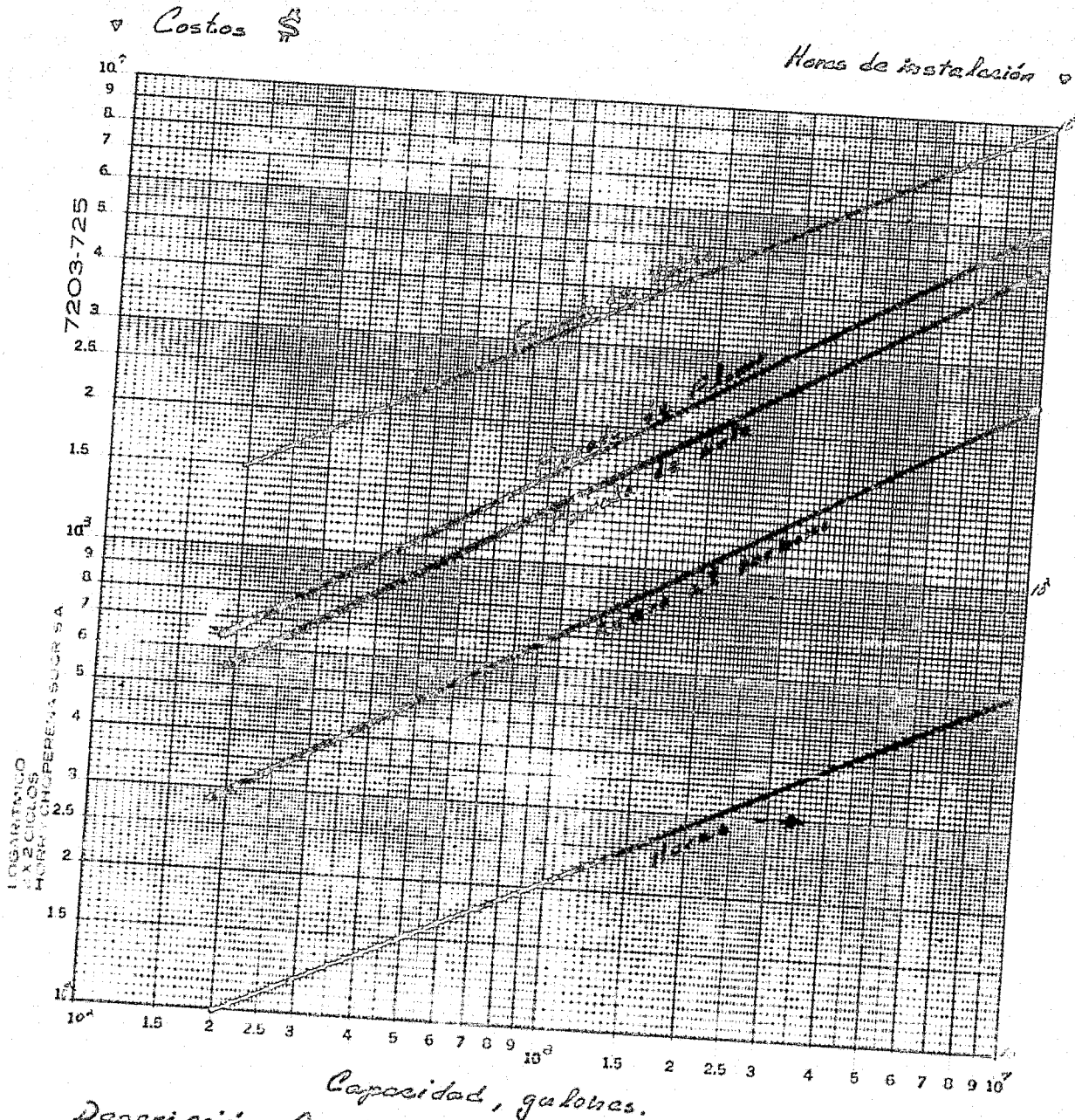
El costo de instalación es entonces la suma de el costo del equipo, material y labor.

Tabla 6.

Relación de Labor a Material para seleccionar módulos de equipo instalado.

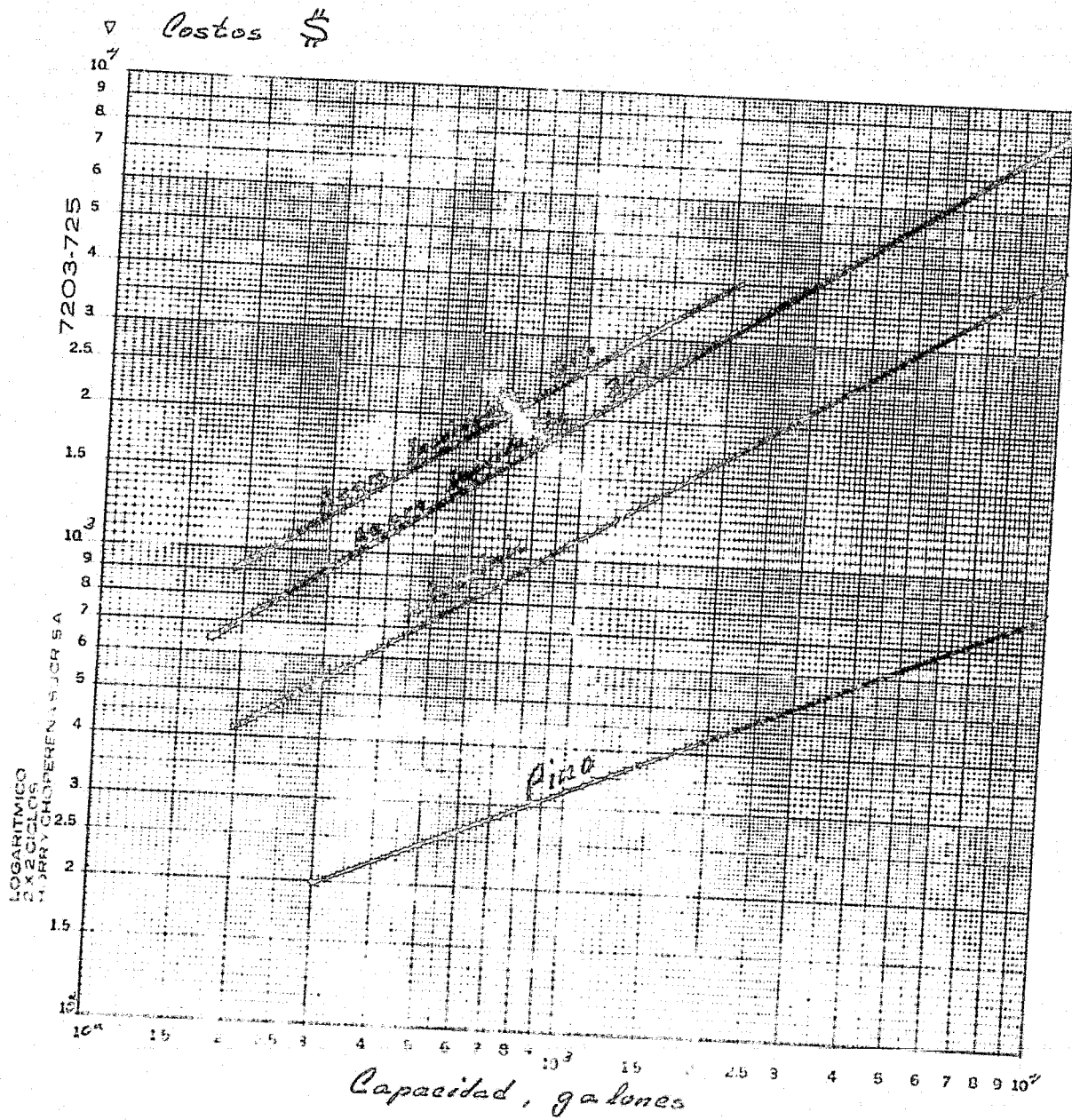
Módulo de Equipo instalado	Rango de L/M,	
	Unidad grande	Unidad pequeña
Compresoras de aire	0.330	0.872
Tanques agitados abiertos	0.410	0.592
Tanques a presión agitados	0.299	0.571
Condensadores	0.437	0.643
Transportadores	0.966	1.147
Triturador	0.988	1.113
Cristalizadores	0.952	1.031
Centrífugas	0.968	1.021
Cortadoras	0.859	0.965
Secadoras	0.825	0.937
Colector de polvo	0.755	0.838
Cilindro secador	0.837	0.846
Evaporadores	0.336	0.695
Generadores eléctricos	1.224	1.389
Eyectores	0.868	0.898
Extractores	0.962	0.975
Filtros	0.992	1.121
Alimentadores	0.997	1.083
Ventilador	0.987	1.049
Máquinas de flotación	1.021	1.084
Hornos	0.616	0.674
Compresoras de gas	0.448	0.870
Bombas de engrane	0.394	0.410
Cambiadores de calor	0.227	0.766
Unidades de calefacción	0.385	0.580
Montacargas	0.706	0.729
Cambiadores iónicos	0.579	0.652
Molinos	0.990	1.151
Mezcladores	1.040	1.196
Columnas empacadas	0.292	0.740
Prensas	1.040	1.062
Bombas	0.318	0.720
Reactores	0.611	0.735
Secadores rotatorios	0.813	0.956
Torres de charolas	0.435	0.501
Bombas de vacío	0.437	0.705
Mallas vibratorias	1.189	1.270

# Tanques de almacenamiento: verticales

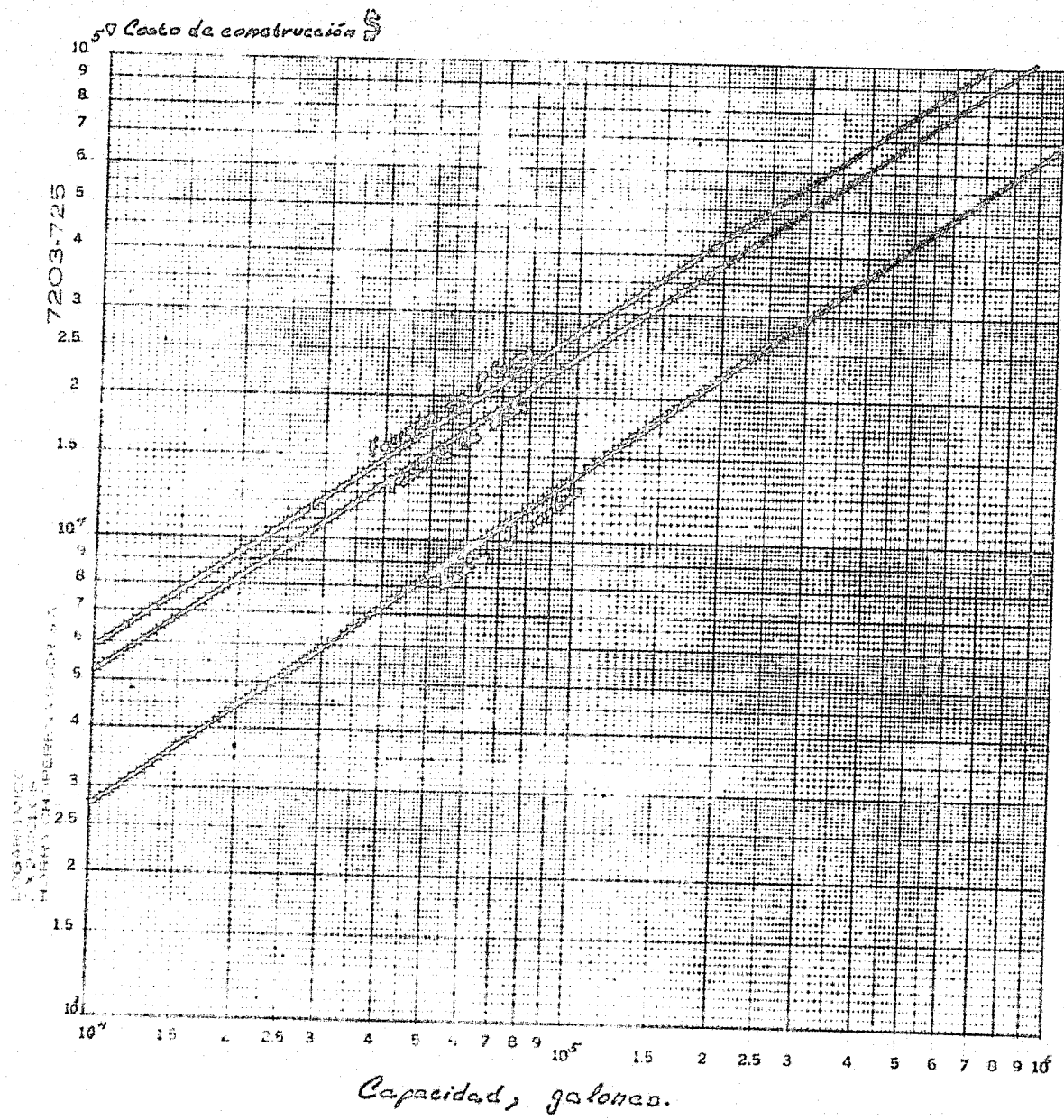


Descripción: Boveda de concreto, 18 pulg. Toma de aire, una boquilla 4 pulg. una boquilla 6 pulg. cuatro boquillas 2 pulg.

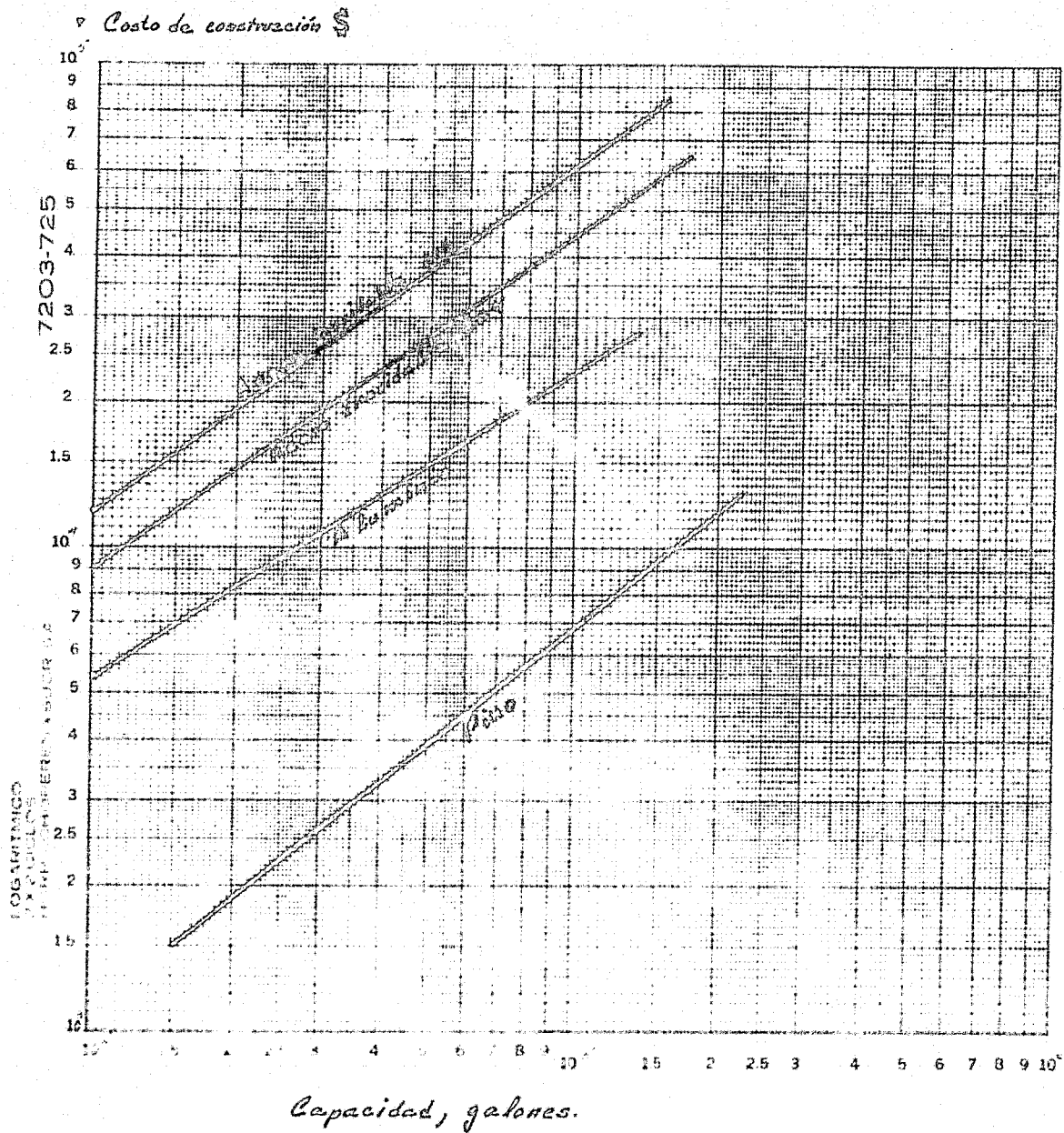
(Tanques Verticales)



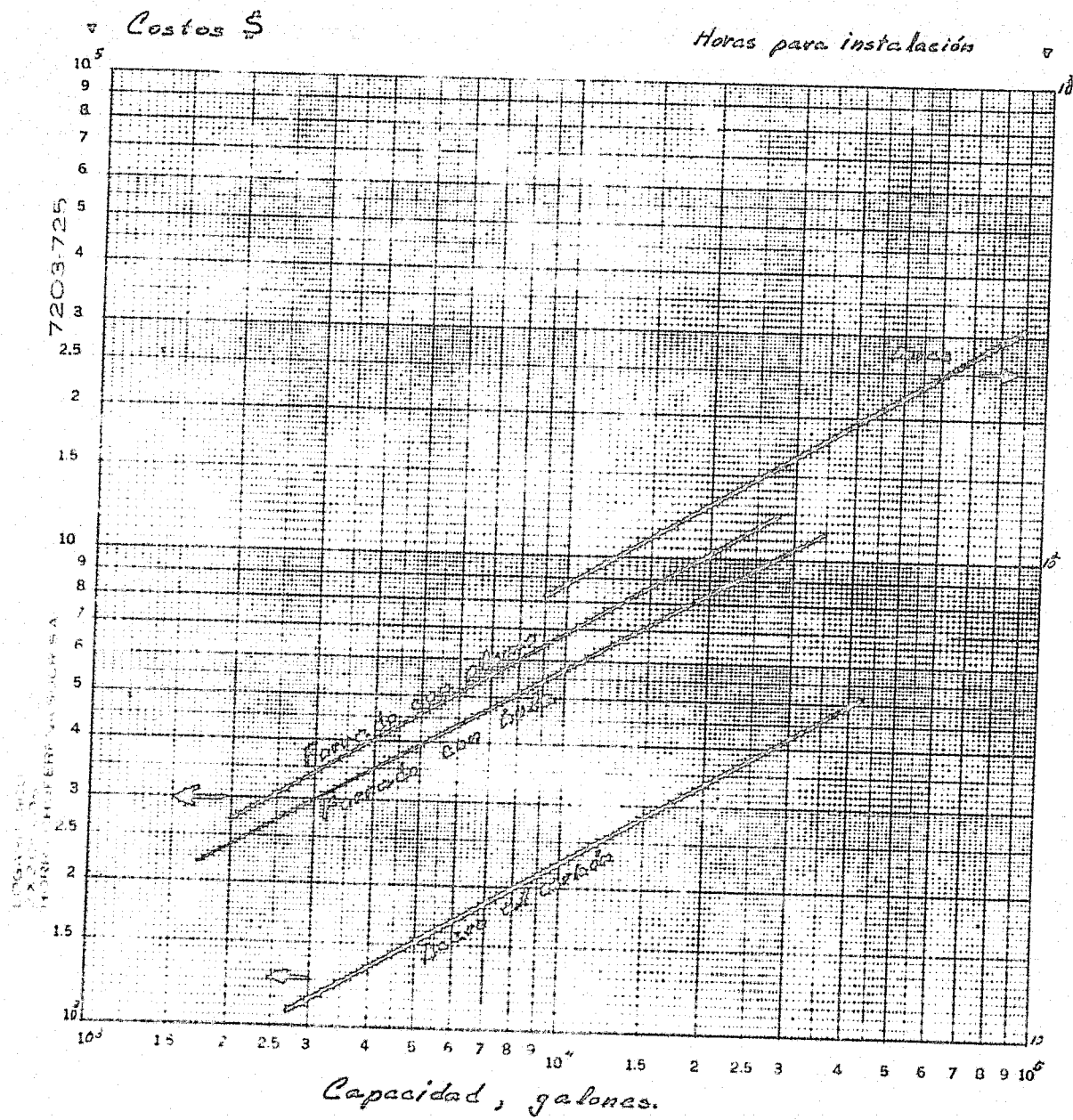
# Tanques de almacenamiento: verticales



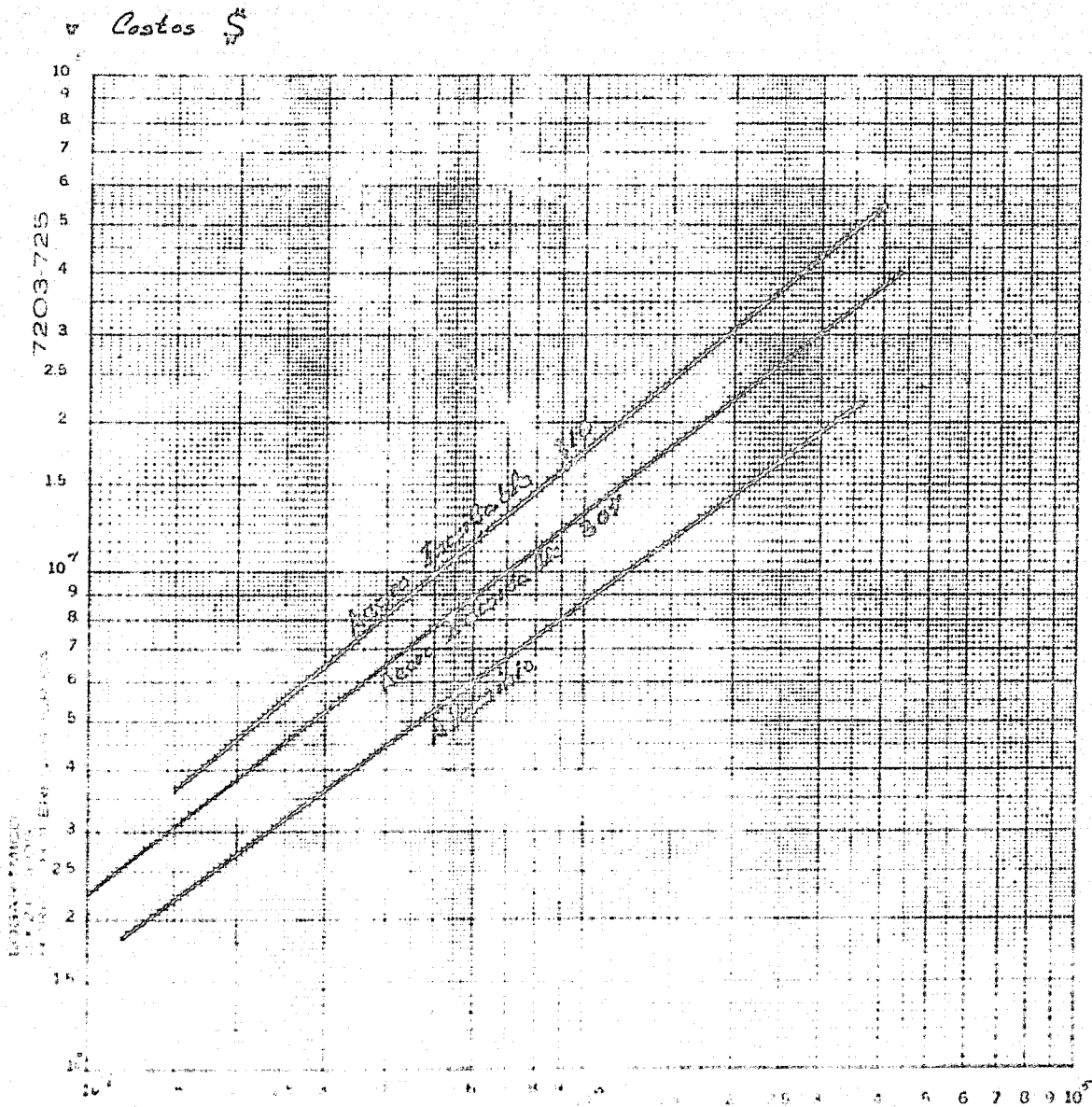
(Tanques Verticales)



# Tanques de almacenamiento: horizontales



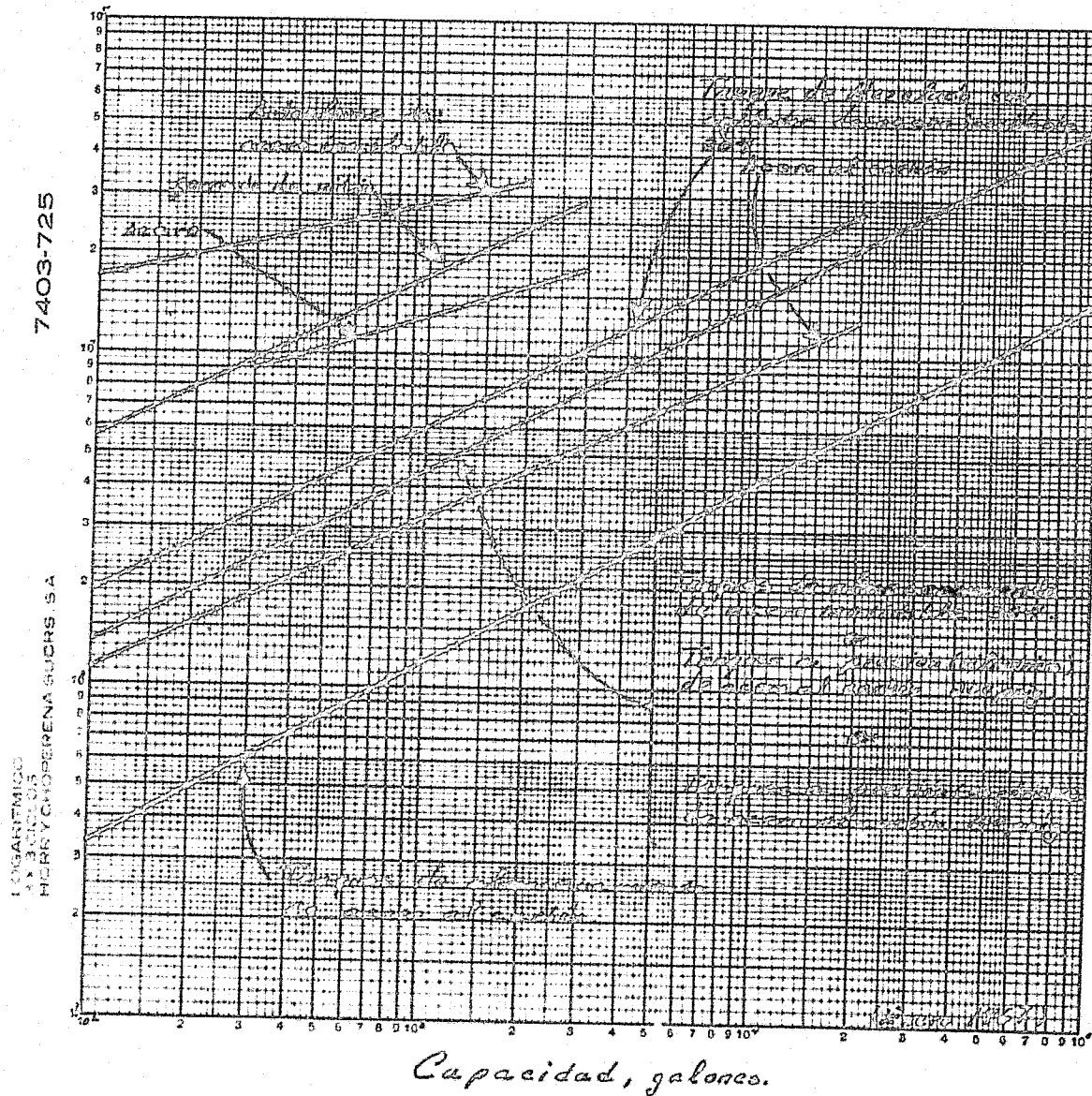
(Tanques horizontales)



Descripción: Toma de aire, 18 pulg. Una boquilla 4 pulg. Una boquilla 6 pulg.; cuatro boquillas con bridas y cabezas conovas.

# Tanques de almacenamiento, presión y de mezclado

o Costos \$



*Nota: el costo para el tanque de mezclado incluye el costo de la unidad impulsora.*

Para la gráfica de bombas centrífugas se hacen las siguientes  
anotaciones:

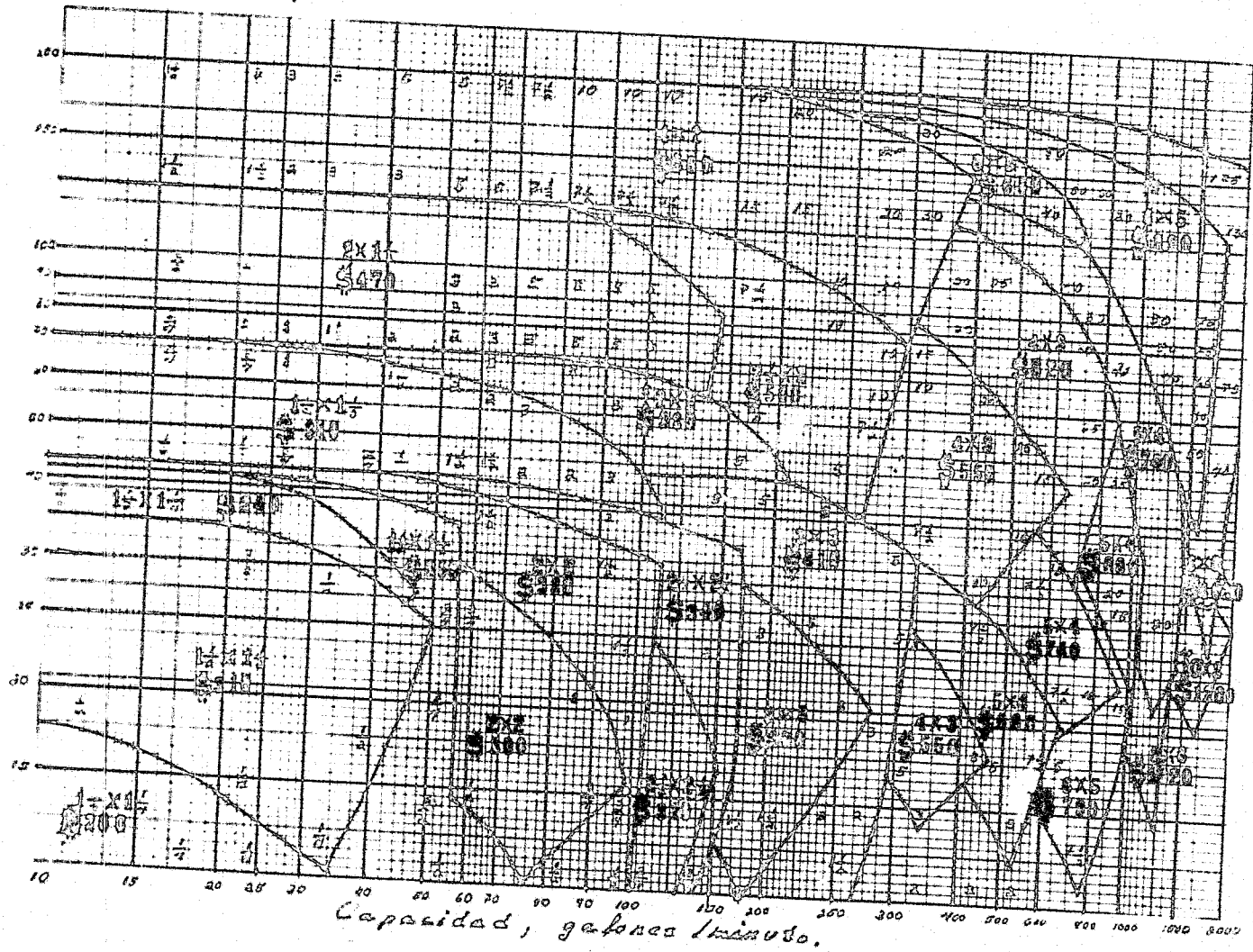
Las bombas están fabricadas de: hierro colado, conexiones de  
bronce, 1.00; bronce 1.26; conexiones de acero colado 316, 1.50;  
acero inoxidable 316, 1.80.

Los números más pequeños que están en los bloques indican aproxi-  
madamente los hp.

El precio de la bomba incluye base de acero y junta, así como tam-  
bién aparece el número del motor.

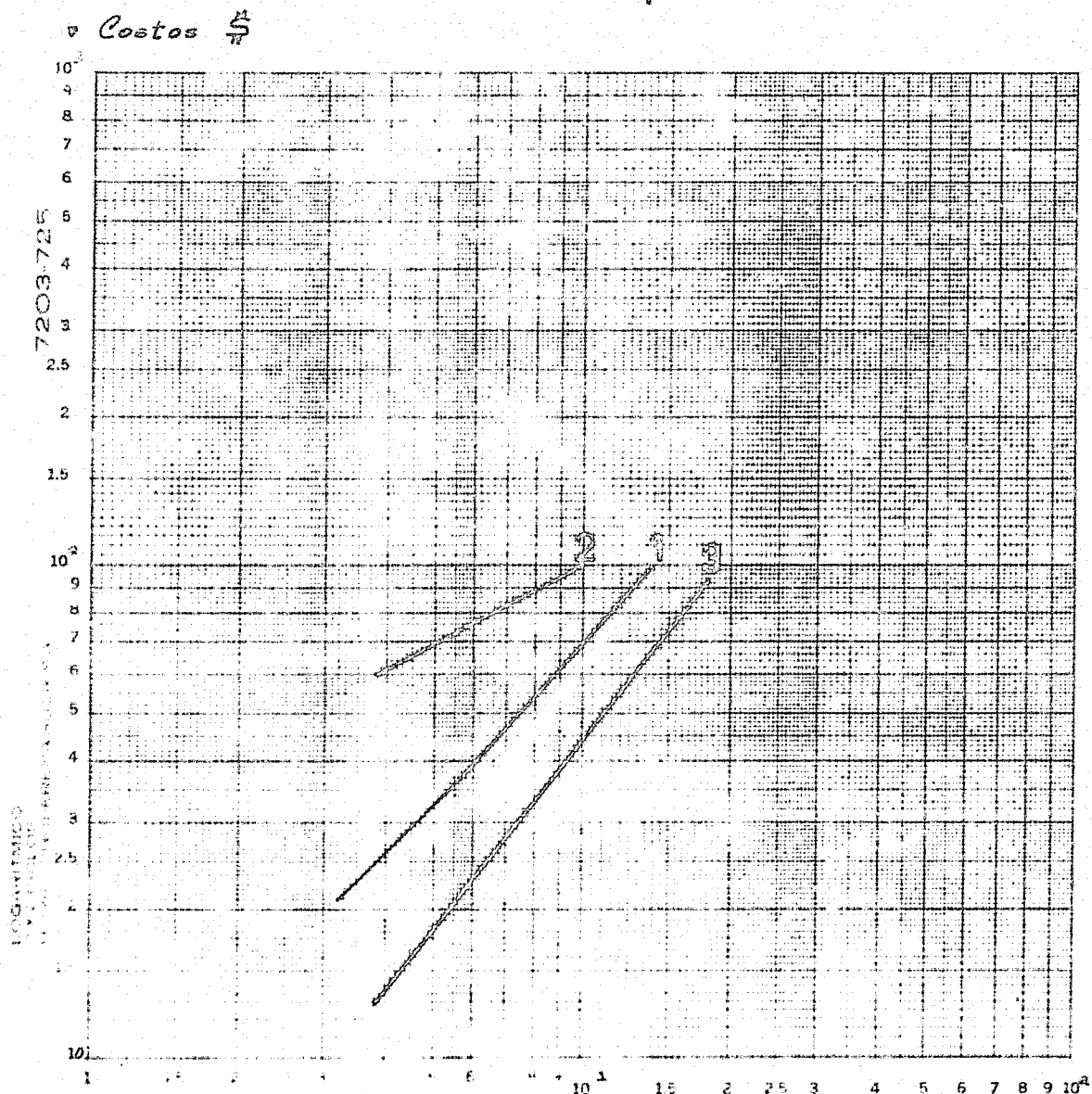
# BOMBAS CENTRIFUGAS (Una y dos etapas, succión simple)

• Cabeza, pies de líquido



# INSTRUMENTACION .

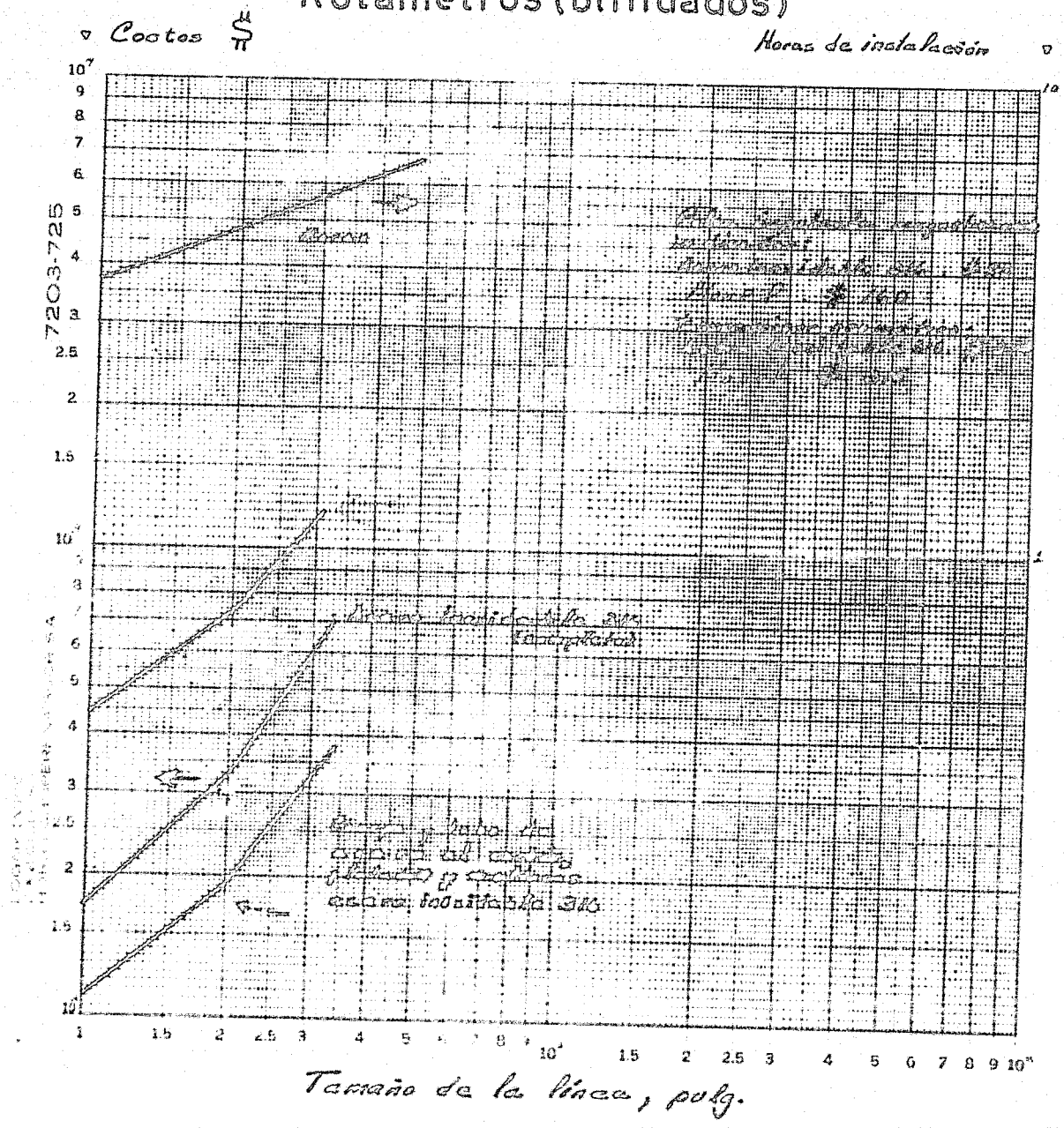
## instrumentos de presión.



Curva N°

- 1 Calibrador de presión, (proceso). Tipo cuadrante, caja genérica rebordada, acero inoxidable Bourdon 316 y casquillo. Base conectada con bobina de seguridad.
- 2 Calibrador de baja presión con yuella de acero inoxidable 316.
- 3 Calibrador de presión receptor, 3-16 psi, resúmen, interruptor montado, caso genérico, bronce Bourdon. Conexión en la base.

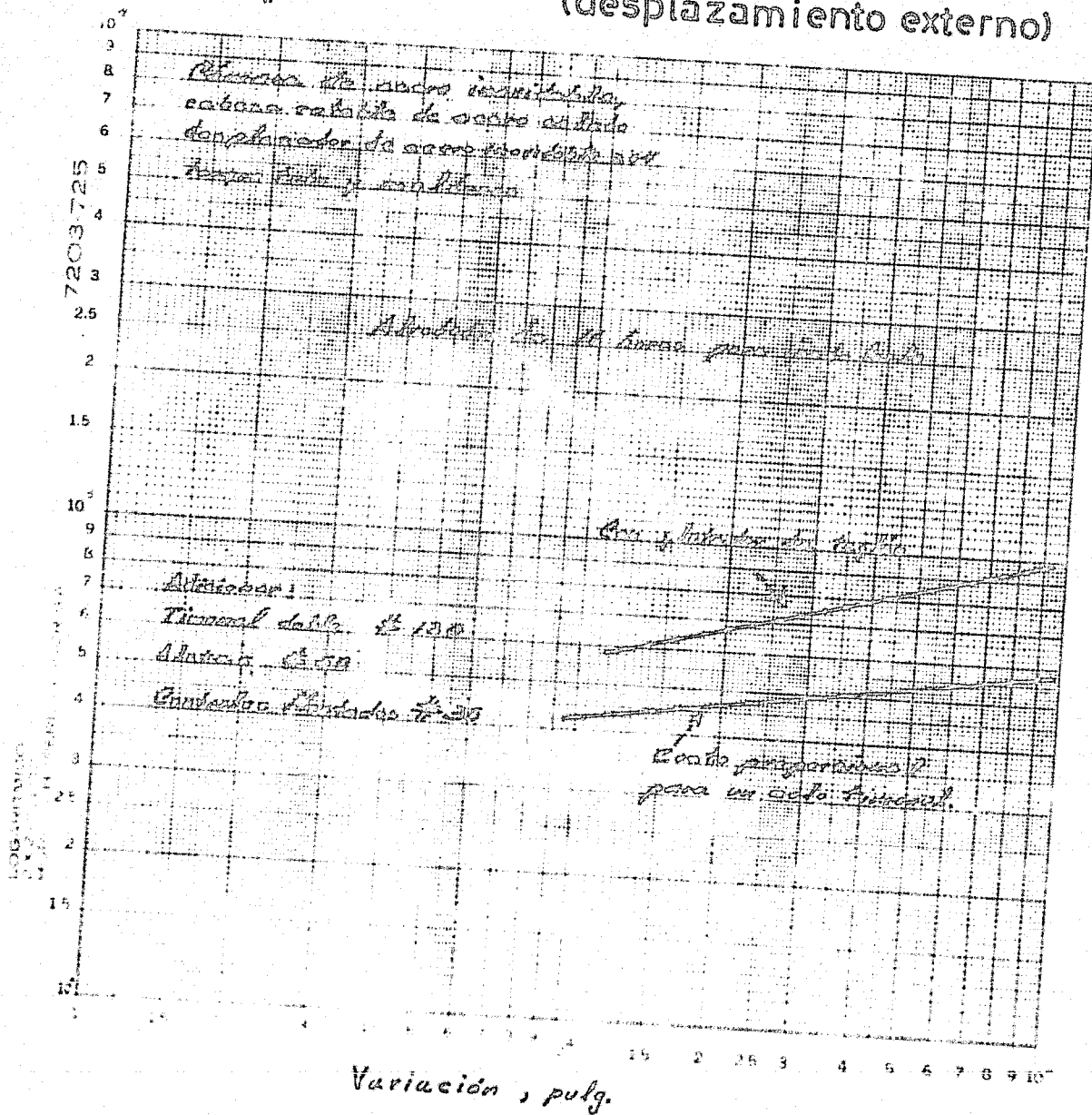
# Rotámetros (blindados)



# Controles de nivel.

(desplazamiento externo)

Costo \$



## VI. CONCLUSIONES.

Es notorio el hecho de que, desde el momento en que se conoció la aplicación de el proceso de flotación con aire disuelto para tratar aguas residuales, se continuó haciendo estudios y modificaciones al método, de acuerdo con los avances de la ciencia y de la tecnología hasta ir eliminando poco a poco las desventajas que presentaba el proceso originalmente, esto se pone de manifiesto en todas las publicaciones existentes en los principales idiomas.

Muchas de estas publicaciones, exponen criterios de diseño para este tipo de unidades; algunas de ellas toman en cuenta el tipo de materia que contiene el efluente y hacen las modificaciones pertinentes por lo que para este capítulo se obtuvo lo necesario.

La dificultad surgió al tratar con las ecuaciones de diseño, pues estas no se encuentran fácilmente en la literatura; los diseñadores solo presentan como tales la Ley de Stokes y la Ley de Henry, modificadas para el proceso de flotación; argumentando que las ecuaciones de diseño para el proceso de flotación, son las mismas que para el proceso de sedimentación; ya que el fenómeno que ocurre al flotar una partícula, es exactamente el mismo que sucede cuando esta partícula se sedimenta, solo que de sentido contrario. Lo cierto es que tampoco aparecen publicadas las ecuaciones de diseño para el equipo de sedimentación, salvo las ecuaciones de la Ley de Henry y la de Stokes. En el manual de la API, así como en otros manuales, tampoco aparecen las ecuaciones de diseño, solo publica la información acerca de los diferentes tipos de unidades de flotación que tiene el API y las dimensiones que estas unidades poseen.

En cuanto a costos, ya que el tema se trató de una manera general, se proporcionan las gráficas indispensables, para hacer la estimación de costos del equipo y de su instalación, de acuerdo con el diagrama más completo que se encontró para el proceso.

Al desarrollar este trabajo, se pone de manifiesto la relación que tiene la Ingeniería Química con muchas otras materias, así como se aprecia su aplicación en un problema de interés actual, como es la contaminación ambiental.

APENDICES.

DBO ( Demanda biológica o bioquímica de oxígeno)

Método de prueba. La cantidad de oxígeno en partes por millón, requerida para oxigenar biológicamente, componentes de aguas residuales.

Los métodos de prueba en el laboratorio determinan el oxígeno en partes por millón requerido para la descomposición de materia orgánica en la muestra, por acción bacteriana.

Un método de prueba semejante es el método de la API (1).

La muestra es diluida con agua, la cual contiene bacterias y se incuba a 68°F y 5 días. La disminución en el contenido de oxígeno entre la muestra original y la muestra incubada es de "5 días DBO".

Otro método determina "1 día BDO", "2 días DBO", etc. y algunos métodos varían en la temperatura de incubación.

DBO es frecuentemente dado en mg/lt y esto es esencialmente lo mismo que partes por millón en peso.

Algunos autores se refieren en la literatura como "DBO residual" lo que provoca confusión en la terminología de tratamiento de aguas residuales.

Para describir un residuo, se observa la cantidad de oxígeno que contiene y se compara con las muestras del laboratorio que pueden ser "1, 2 etc. días DBO".

## APENDICE 2.

DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Método de prueba. La cantidad de oxígeno en partes por millón por peso, requerida para oxigenar los componentes del agua de deshecho, por reacción puramente química.

Los métodos de prueba del laboratorio determinan el oxígeno en partes por millón consumidos por la oxidación química de materiales orgánicos en la muestra. El API utiliza un método semejante (1).

La muestra es digerida durante 2 horas a 290°F, con ácido sulfúrico y dicromato de potasio en exceso. El consumo de oxígeno se determina de acuerdo con el consumo de dicromato de potasio, y se toma como "2-hrs DQO".

Otro método emplea cuatro horas de reacción con permanganato de potasio en una solución de ácido a 27°C. Así, los valores de DQO son frecuentemente referidos a, por ejemplo:

- (a) 2-h DQO
- (b) 4-h DQO
- (c) Valor de permanganato.
- (d) 4-h Absorción de oxígeno (4-h OA)
- (e) Oxígeno Consumido (OC)

Estos métodos para determinar DQO, dan resultados numéricamente diferentes, algunas veces con factores tan altos como 10:1.

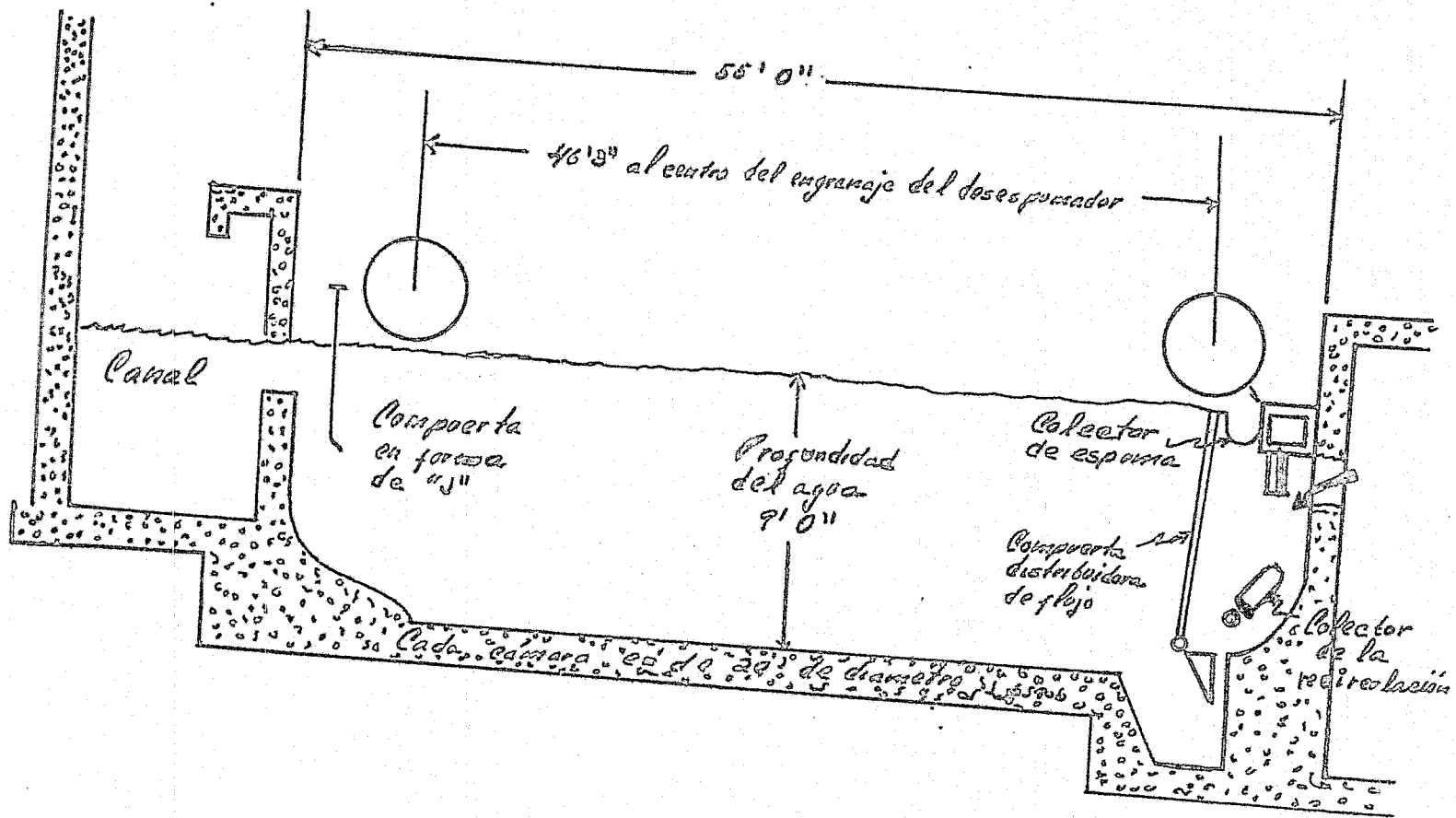
Por tanto es muy importante el uso de los valores DQO obtenidos por el mismo método; se deben de tener precaución, ya que varían aun utilizando la misma muestra de agua residual.

La DQO, es frecuentemente dado en mg/lit el que es esencialmente el mismo en partes por millón en peso.

## Cámara de Flotación API.

En unidades pequeñas, las cámaras se hacen normalmente de acero. Para unidades grandes la construcción de las unidades de flotación se hace en el campo; la cámara de flotación puede ser construida de clase alta o baja y puede ser de acero, concreto o de arcilla. Muchas han sido improvisadas por adaptación de separadores de aceite. El tiempo de retención de diseño requerido por una unidad de flotación varía de 10 min a 40 min. Se pueden usar unidades rectangulares o circulares. Se sugiere usar una velocidad de flujo total de 2.0 a 2.5 gpm/pie<sup>2</sup> para estimar el tamaño de la cámara requerida. La velocidad de flujo total está formada por: gal/min de flujo mas cualquier recirculación dividido por los pies cuadrados de área superficial líquida en la cámara. En general las cámaras son diseñadas y reconstruidas para minimizar remolinos en la sección que forma un codo y para promover la separación de espuma máxima. Se debe tener cuidado para evitar turbulencias en la cámara de separación de el efecto de quitar presión de la corriente que lleva burbujas de aire.

*Cámara de Flotación diseñada por el API.*



BIBLIOGRAFIA.

- 1.- American Petroleum Institute. (API). Manual.
- 2.- Balden A. R. (1969). Industrial Management of Waste water. May, C-11 - C-14.
- 3.- Beychok L. R. (1967). Aquos Wastes from Petroleum and Petrochemical plants. John Wiley & Sons New York.
- 4.- Beychok L. R. (1971). Wastewater Treatment. Hydrocarbon Processing. Dec. 109-112.
- 5.- Bratby J. and Larais G. v R. (1975). Saturator Performance in dissolved-air (pressure) flotation. Water Res. 9, 929-936.
- 6.- Byron R. B., Stewart W. E. Lightfoot E. N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons Inc. New York. pag 132.
- 7.- Cassell E. A. Matijevic E., Mangravite F. J. Jr. , Blizzell T. M. and Blabac S.B. (1971). Removal of Colloidal Pollutants by Microflotation. A.I.Ch.E.Jl. 17, 6 Nov. 1486-1491.
- 8.- Cassell E. A., Kaufman K.M. and Matijevic E. (1975). The effects of bubble size on microflotation. 9, 1017-1024.
- 9.- Cooke B. (1975). Flotattion. Process Engineering. Dec 93-95.
- 10.- Chambers D. B. and Cottrell W.T.R. (1976). Flotation two fresh ways to treat effluents. Chem. Engng. Aug2, 95-98.
- 11.- Diamond Shamrock's Technical group (1973). Air Flotation solves a problem. Water and Wastes Engng. 10 Sept E-25.
- 12.- Farrell L.S. (1953). The Why and How of treating Rendering Plant Wastes. Water & Sewage Works. April, 172-175.
- 13.- Franzen A.E., Skogan. V.G. and Grutsch J.F. (1972). Tertiary Treatment of Process Water. Chem. Engng Prog. 68, 8, 65-72.
- 14.- Funk W.H. Sweeney W.J. and Proctor D.E. (1968). Dissolved-Air Flotation for Harvesting Unicellular Algae. Water & Sewage Works. Aug 343-347.
- 15.- Geinopolos A. and Katz W.J. (1968). Primary Treatment. Chem. Engng. Oct14, 70-82.

- 16.- General Motors Plant in Windsor Ontario, Can. (1973). Company shifts to flotation. Water and Wastes Engng. Apr, B-24.
- 17.- Gray A.C. Jr. (1975). Float Floatables with Chemicols, Water and Wastes Engng. Jan, 33-38.
- 18.- Grieves R.B. and Ettelt G.A. (1967). Continuous, Dissolved-Air Ion Flotation of Hexavalent chromium, A.I.Ch.E. J1 13, 6, 1167-1171. Nov.
- 19.- Hinrichs D.J., Korri K.D. & Paterson J. (1971). Determination of floatables substances in wastewater, Water and Sewage Works. March, 71-74.
- 20.- Howe R. D. H., Gruspier J. and Pratt J.W. (1957). Second Waste Treatment Conference. Water & Sewage Works. J1 323.
- 21.- Jenkins R. (1974). Flocculation and Flotation handl food industry wastes. Process Engng. Ap 8.
- 22.- Knapton R.L. and Taylor A.R. (1975). New Flotation system really cuts solids. Water & Wastes Engng. Aug. 36-40.
- 23.- Kim Y.S. and Zeitlin H. (1971). Separation of Uranium from Seawater by Adsorbing Colloid Flotation. Analytical Chemistry 43, 11, Sept, 1390-1393.
- 23!- Melco:lf & Eddy, Inc., Wastewater Engng: Collection Treatment disposal. Mc Graw Hill Book Company. (1972).
- 24.- Nemerow N.L. (1968). Liquid Waste of Industry Theories Practice & Treatment. Mc Graw Hill.
- 24!- Nemerow N.L. (1963). Theories and Practice of Industrial Waste Treatment, Massachusetts. Mc Graw Hill.
- 25.- Nicholas A. D'Arcy, Jr. (1951). Dissolved-Air Flotation Separates oil from waste water. Division of Refining. Vol 34(113), 34-41.
- 25!- Perry H.R., Chilton G.H. 4th ed. Mc. Graw Hill, 5-59, 5-50.
- 26.- Peters & Timmerhaus. (1968). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Mc Graw Hill. New York

- 26.- Popper Herbert. (1970). Modern Cost Engineering Techniques. Mc Graw Hill. New York.
- 27.- Kollisch A.G. (1954). Application of Air Flotation to Refinery Waste Waters. Ind. Engng. Chem. 46,2,304-308.
- 28.- Roth E.R., Helwig J.D. and Hall W.A. (1960). Atlantic Selects. Air Flotation for Refinery Waste Treatment. Division of Refining. 40 (III), 309-319.
- 29.- Sherman Ch. B. (1958). Flotation Treatment of Sewage and Industrial Wastes. Jun 783-790.
- 30.- Somasundara and Fuerstenau D.W. (1968). Chain Length effects on Flotation confirmed. Mining Engng. Aug, 72.
- 31.- Somasundara (1968). Importance of Adsorption at Liquid-gas interface Stressed for Flotation. Mining Engng. Aug, 73.
- 32.- Streeter V.L. Mecanica de Fluidos. Mc Graw Hill. pag 171.
- 33.- Veil P.B. (1961). Will air Flotation Remove the Chemical Oxygen Demand of Refinery Waste Water?. Petroleum Refiner. 40,5, May 177-180.
- 34.- Van Vuuren L.R.J., Stander G.J., Henzen E.R., Vanblerk S.H.V., Hamman P.F. (1968). Dispersed air flocculation/flotation for Stripping of organic pollutants from effluents. Water Res. 2, 177-183.
- 35.- Wood R. (1976). Flotation lifts throughout of PVC effluent. Process Engng. Jan, 7.
- 36.- Blecker H.G., Epstein H.S., Nichols G. (1974). How to estimate and escalate cost of... Wastewater Equipments. Chemical Engineering/Deskbook Issue/October. 115-121.