

O ACCELATOR(*)

JOSÉ MARIA COSTA RODRIGUES

Engenheiro Civil

1. INTRODUÇÃO

O início da operação do Accelator instalado para o Departamento de Águas e Esgotos do Estado de São Paulo, na Estação de Tratamento de Santo Amaro, dado o vulto do trabalho, um dos maiores existentes no mundo, despertou natural curiosidade em nosso meio.

Os resultados altamente satisfatórios obtidos desde o início destas operações entusiasmaram os técnicos e aumentaram ainda mais a curiosidade de quantos se interessam pelos problemas relativos ao tratamento de água.

Nosso objetivo com o presente trabalho é apresentar um resumo histórico do desenvolvimento e aperfeiçoamento do Accelator, uma sucinta descrição do seu funcionamento e uma análise um pouco mais detalhada das suas duas características fundamentais:

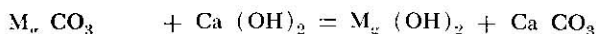
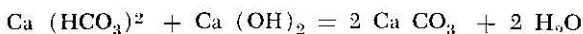
O acondicionamento especial dos flocos e a separação dinâmica entre sólidos e líquido.

2. HISTÓRICO

2.1 — Fase experimental 1920-1935

O Accelator não é simplesmente um aparelho ou um equipamento empregado em instalações para tratamento de águas. Mais apropriadamente é um processo que se originou e desenvolveu dos estudos e pesquisas realizadas sobre o abrandamento de águas duras, sendo posteriormente aplicado com indiscutível sucesso na clarificação de águas turvas ou coloridas, no tratamento de resíduos e esgotos, e recentemente em processos de trocas de ions.

Supõe-se ter sido o químico inglês Cavandish quem em 1766, descobriu a capacidade da cal em precipitar o cálcio e o magnésio em soluções aquosas.



Já em 1841, Clark e Porter na Inglaterra realizavam estas reações em escala industrial e obtinham patentes para seus processos (1).

O chamado "batch system of lime and soda water softening" principiava então a ser empregado pela indústria. Este sistema constava das seguintes operações:

1. Enchimento do tanque
2. Mistura do reagente químico
3. Flocculação do precipitado por revolvimento lento adicional
4. Sedimentação
5. Extração da água clarificada para utilização e remoção do lodo produzido.

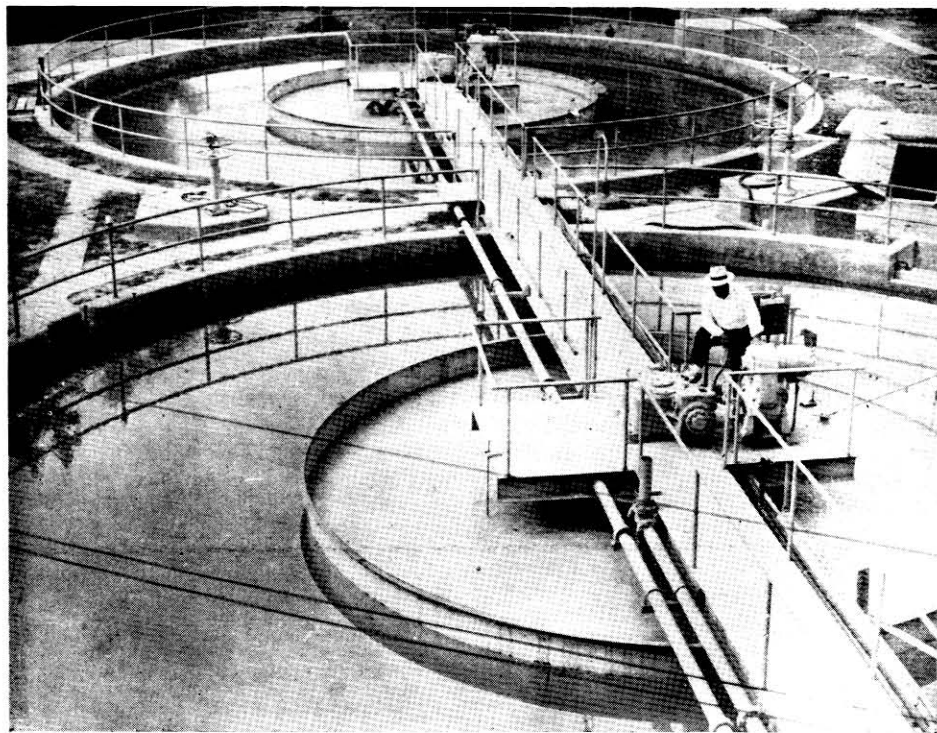
(*) Palestra realizada na Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais para o Curso de Engenheiros Sanitaristas — B. Horizonte, Outubro/1957.

No processo de abrandamento com cal e sódia, o cálcio existente na água bruta é precipitado como carbonato e o magnésio sob a forma de hidróxido.

Segue-se que se as reações referidas prosseguirem até seu término, a dureza da água bruta será reduzida a um valor equivalente aos valores teóricos das solubilidades combinadas do carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio.

Na prática entretanto não se conseguia a eficiência prevista pela teoria.

Admitiu-se então que o carbonato de cálcio como o hidróxido de magnésio, tivessem tendência para constituir soluções supersaturadas relativamente estáveis, isto é, existirem em solução em quantidades superiores aos seus índices de solubilidade.



Estação de Tratamento Decatur, Illinois
capacidade 45 MLD (*)

Um dos recursos empregados para provocar precipitação de soluções supersaturadas é a "inoculação", isto é, a presença de uma partícula que age como núcleo provocando e acelerando a precipitação do excesso em solução. Daí saiu a ideia de se utilizar as partículas previamente precipitadas para em contáto com a água bruta (já submetida aos reagentes) agir como núcleos aceleradores da precipitação química.

Por outro lado é fácil concluir-se que quanto mais diluta for a solução, maior deverá ser a agitação necessária afim de que sejam mantidas as mesmas condições de contáto.

A grande industrialização que se iniciou no século XX em áreas muitas vezes abastecidas por água de apreciável dureza, criou uma demanda enorme por sistemas de processos de abrandamento.

Pesquisadores Europeus e Americanos aperfeiçoarem este método, e a literatura nos mostra que os Alemães (Reisert) provávelmente foram os pioneiros, na utilização do lodo formado pelos flocos previamente precipitados como auxiliares e aceleradores dos processos de abrandamento.

Patentes registradas nos Estados Unidos por Koyl (1901) Sutro e Booth (1905) referiam-se também a equipamento e processos semelhantes.

Apesar de já ter havido nesta altura um progresso ao se passar do "batch system" para um "continuous process" de abrandamento, persistiam ainda as três fases distintas de mistura, floculação e sedimentação.

(*) 1 M. L. D. = 1 milhão de litros por dia.

As maiores dificuldades para recirculação do lodo previamente precipitado residiam no controle do movimento deste lodo.

As bombas utilizadas em geral destruíam a maioria dos flocos por cisalhamento e esmagamento, aumentando assim a carga nas unidades de sedimentação.

O "staff" técnico da Infilco Inc. de Chicago, companhia fabricante de equipamentos para tratamento de águas, começou a pesquisar uma solução para este problema por volta de 1920.



Estação de Tratamento de Águas de Tampa — Florida
2 Acelerators capacidade 114 MLD

No período que decorreu entre 1920 a 1935, a solução do problema teve o seu estágio experimental. Dentre os engenheiros americanos que se dedicaram ao estudo desta questão, dois grupos sobressairam-se indiscutivelmente pela simplicidade e engenho das soluções encontradas: o grupo da Infilco com Engel, Green, Behrman, Mac Bride, Kahn e outros e o grupo orientado por Spaulding.

Em 20 de Dezembro de 1927, Green & Behrman obtinham a U. S. patente n.º 1.653.272.

Em 19 de Novembro de 1935 Spaulding registrava a U. S. patente n.º 2.021.672. Ambas referiam-se a processos em que a água bruta, logo após receber os reagentes químicos, era colocada em íntimo contato com o lodo previamente formado.

2.2 — Período de Apresentação do Acelator

Em 1936 a Infilco inaugurava a primeira instalação para abrandamento e clarificação de águas de abastecimento municipal com um aparelho que denominou "Acelator", e, podemos considerar este ano como marco inicial da época de aplicação destes métodos aperfeiçoados, os quais passaram a ser conhecidos pela designação de "high rate process" (processo de alto rendimento), em substituição aos processos convencionais de clarificação de águas.

Verificando o sucesso do processo de "alto rendimento" no abrandamento, o passo seguinte e lógico, foi o desenho de uma instalação semelhante para clarificação de águas turvas e coloridas.

Em 1938 no 96th Meeting da American Chemical Society, Behrman e Green (2) divulgavam os resultados altamente animadores obtidos com Acelerators abrandando — águas de poços profundos para abastecimento de Anna, Ill., Willians Bay, Wis., e Georgetown, Texas. Divulgavam também os resultados de uma instalação experimental em Baton Rouge La. para clarificação das águas do Rio Mississipi de grande turbidez.

Neste mesmo ano em Milwaukee na "Wisconsin Section Meeting" da A.W.W.A., Mc Bride referia-se à dados acumulados em mais de 35 instalações Acelator's.

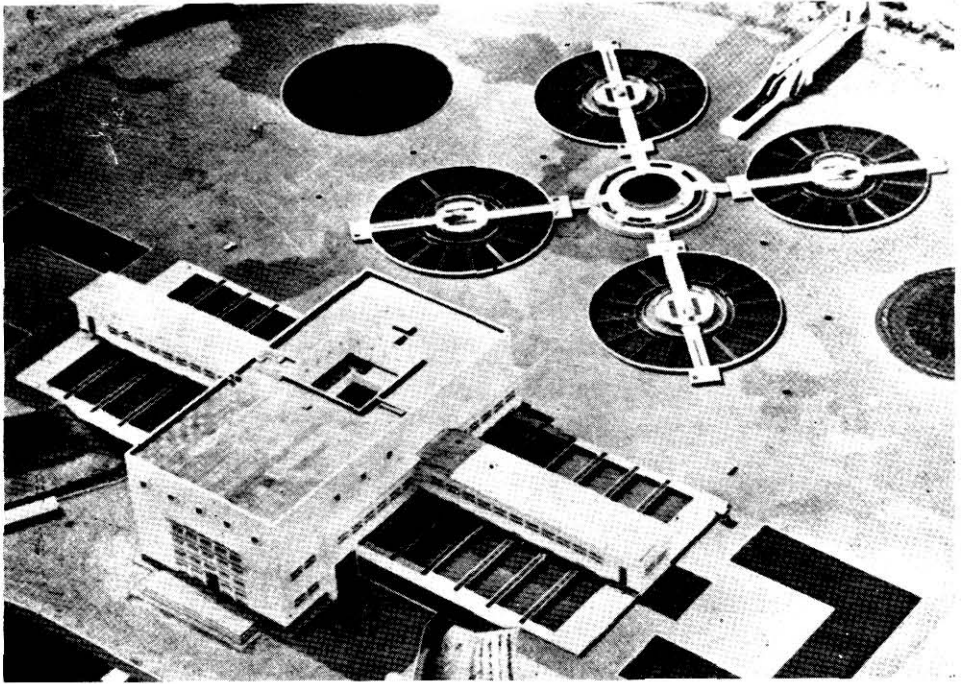
Em 1942 na "Florida Section Meeting" da AWWA, Kahn (3) apresentava trabalho divulgando os resultados obtidos com Acelerators, exclusivamente empregados para remoção de cor e turbidez em dez diferentes instalações das quais três para abastecimento municipal.

Em 1943 na reunião anual da TAPPI, Embshoff (4) divulgava os resultados de três grandes instalações industriais de abrandamento e clarificação de águas para fábricas de papel.

Em 1947 na reunião anual de São Francisco da AWWA, Kalinske (5) apresentava interessante trabalho sobre os fundamentos teóricos e experimentais do desenho e detalhes de Accelerator.

Em 1948 era publicado no número de Junho do AWWA Journal o resultado das experiências do professor W. L. Mallmann (6), professor de Bacteriologia e Saúde Pública do Michigan State College.

Neste trabalho concluiu o autor que os processos de alto rendimento "high rate process" com apenas 1 horas de retenção, removiam mais bactérias da água bruta poluída que os processos convencionais de sedimentação com 4 horas de retenção. Podemos considerar pois o período de 1935 a 1945 como sendo o de apresentação deste processo de clarificação de alto rendimento.



Estação de Tratamento de Casablanca — Marrocos
Capacidade Total 86 MLD

Neste período em geral, as indústrias aceitaram e empregaram estes processos em muito maior escala que as municipalidades, em suas instalações para tratamento de águas.

Atribuímos este fato principalmente a dois fatores:

- 1 — A experiência tem mostrado que as entidades de serviços públicos e governamentais de uma maneira geral reagem mais lentamente que as empresas privadas às inovações do progresso.
- 2 — As entidades de serviço público têm maior interesse em custo baixo de operação do que nos custos de primeiro investimento, pois quase sempre dispõe de termos de financiamento a longo prazo.

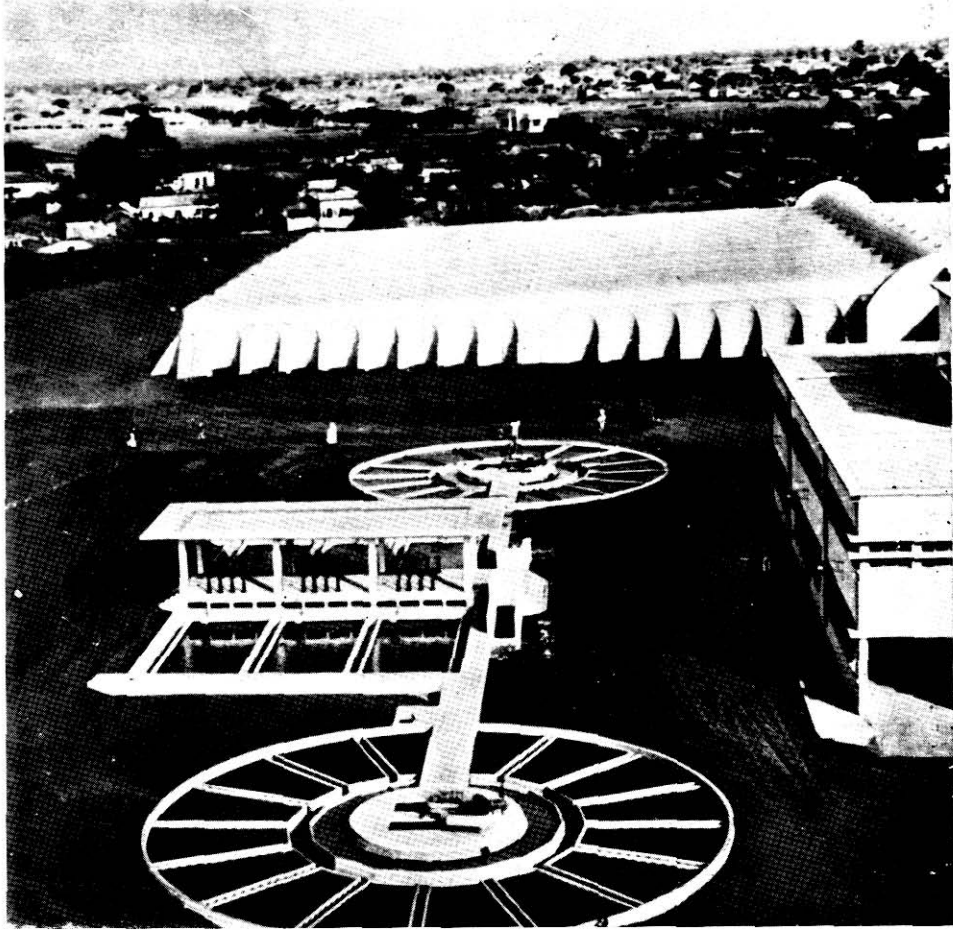
Por outro lado nas empresas particulares ocorre o inverso, tendo as mesmas o maior interesse no custo baixo do primeiro investimento, que representa empate de capital, enquanto o custo de operação pode facilmente ser incluído no preço do produto industrial. Do que foi dito acima, é razoável concluir-se que o custo apreciavelmente inferior das instalações que empregam o método de alto rendimento, tenha influído com maior preponderância nas decisões das empresas privadas de que nas entidades públicas.

Não nos devemos esquecer também do período de guerra, no qual, acreditamos não ter o governo americano, se preocupado muito com questões de abastecimento de água para as cidades, empenhado como estava num grande esforço industrial.

2.3 - Situação Atual

Ao terminar a guerra, existiam, entretanto, na América, inúmeras instalações com Accelerators e a atenção dos engenheiros especialistas começou a voltar-se para a instalação de Decatur no Estado de Illinois com 2 unidades e capacidade total de 45 M.L.D. cujos resultados vinham sendo altamente satisfatórios.

Em 1948 entravam em serviços além de muitas outras menores, as instalações de Tampa na Flórida com duas unidades e capacidade total de 114 M.L.D. e Muskogee no Estado de Oklahoma - 1 unidade e capacidade total 45 M.L.D..



**Estação de Tratamento de Luanda — Angola Portuguesa
2 Accelerators de 19 M de diâmetro — Capacidade 61 MLD**

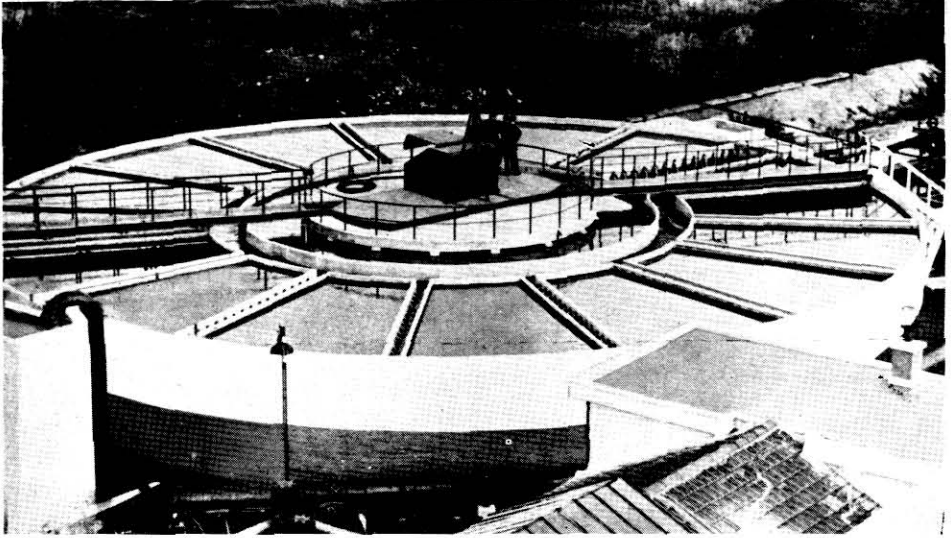
Em 1950, era a vez das instalações de Fargo em North Dakota - 3 unidades capacidade total de 51 M.L.D. e Wichita Falls no Texas - 1 unidade - capacidade 47 M.L.D.. Nêste mesmo ano o Accelerator aparecia em duas grandes instalações fora do território Americano - Casablanca no Marrocos Francês - 4 unidades - capacidade - total 86 M.L.D. e Aleppo, Siria - 2 unidades - 61 M.L.D. de capacidade total.

Em 1951 entravam em funcionamento as instalações de Charleston - West Virginia - 1 unidade - capacidade 70 M.L.D., Benton Harbor - Michigan - 2 unidades - capacidade 61 M.L.D., Luanda - Angola - 2 unidades - capacidade 61 M.L.D., Seedy Mill - Staffordshire - Inglaterra - 4 unidades - 68 M.L.D..

Nesta altura o número de Accelerators já instalados em industrias ou para abastecimento público aproximava-se a um milhar!

Um Committee nomeado pela AWWA relatava em 1951, a existência de 8 tipos diferentes de "high rate units" (7), fabricados por diversas companhias americanas.

No aparelho desenvolvido por Spaulding, a água entra numa câmara central de mistura onde é agitada mecânicamente por período relativamente longo com os reagentes químicos. Em seguida penetra pela zona inferior do tanque de clarificação que tem forma de tronco de pirâmide invertido, e escoando verticalmente de baixo para cima vai atravessando secções de áreas progressivamente crescentes, diminuindo pois a velocidade.



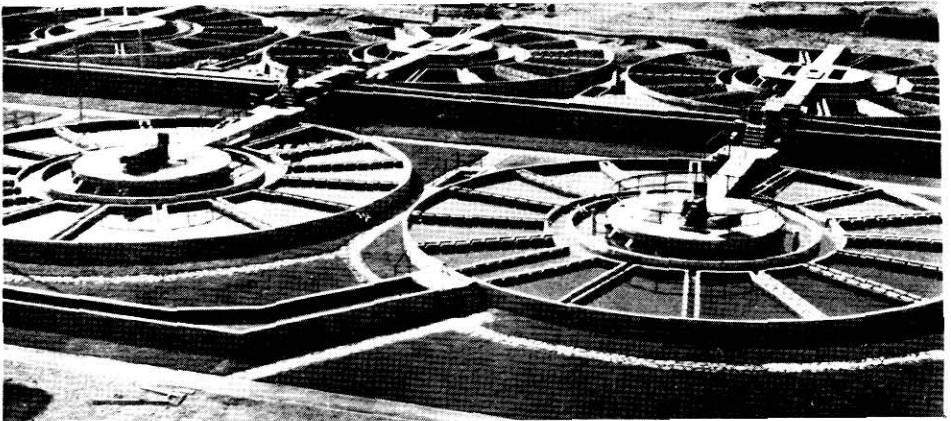
**Accelerator com 26 m de Diâmetro — Capacidade 44 MLD
Manterre, Sena, França**

Em determinada altura forma-se uma concentração muito densa de flocos, denominada manto de lodos, através da qual percola o líquido floculado, procedendo-se então a apreensão e separação dos sólidos.

No Accelerator não há esta percolação.

É produzida uma corrente circulatória de uma lama (slurry) de flocos previamente formados e desta corrente é então separada dinamicamente, a água clarificada da lama de flocos.

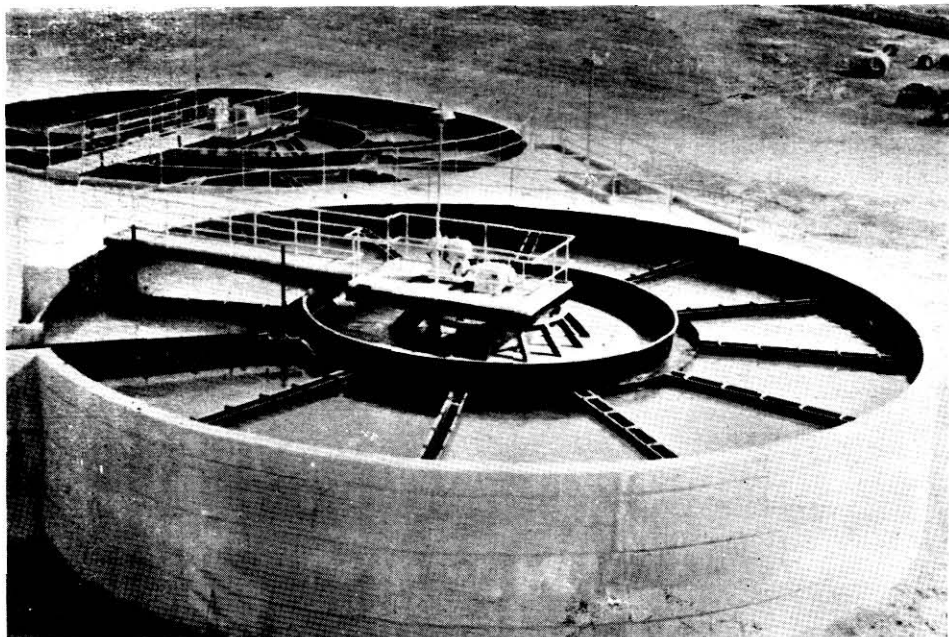
Existem no mercado hoje em dia mais de uma dezena de "high rate units" de diferentes fabricantes.



**Estação de Tratamento de Theran — Iran
Capacidade Total — 280 MLD**

Todos eles, entretanto, são modificações do tipo ideado por Spaulding, isto é, funcionam segundo o princípio da percolação em *fluxo vertical ascendente através de um manto de lodos*.

Até o momento nenhum fabricante conseguiu reproduzir as características do Acclerator: — circulação positiva do lodo e separação dinâmica, características realmente engenhosas e de grande simplicidade, responsáveis talvez pela extraordinária aceitação que tem tido este



Estação de Tratamento de Barranquilla — Colombia
2 Acclerators — Capacidade total 45 MLD

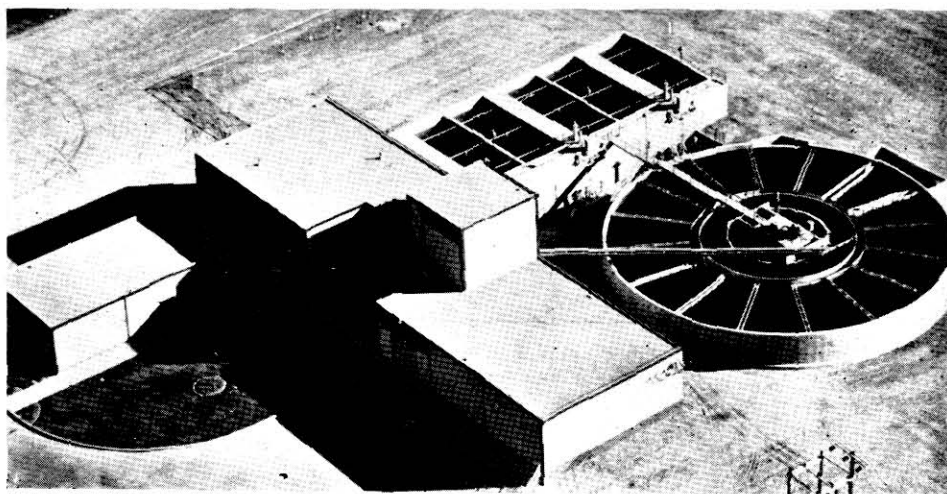
tipo de clarificador, refletida em cerca de 2.500 instalações (número superior ao total dos outros tipos) e construídos em 47 países diferentes.

Dentre elas podemos citar como instalações de grade vulto exclusivamente para abastecimento público, além das já mencionadas, as seguintes:

<i>Abastecimento Municipal nos Estados Unidos</i>	<i>Capacidade total M.L.D.</i>	<i>Data do início de operação</i>
Omaha — Nebraska — a maior instalação de alto rendimento do mundo — 4 unidades com capacidade total	512	1957
Tulsa — Oklahoma — 2 unidades com capacidade total	245	1956
Lawton — Oklahoma — 2 unidades com capacidade total	95	1953
Hamilton — Ohio — 2 unidades com capacidade total	68	1954
Columbia — South Carolina — 2 unidades c/ capacidade total	68	1954
Oak Ridge — Tennessee — 2 unidades com capacidade total	62	1953
El Centro — California — 1 unidade com capacidade total	57	1957
Elsinore — California — 1 unidade com capacidade total	57	1957
Ponka City — Oklahoma — 1 unidade com capacidade total	57	1954
Universidade City — Missouri — 1 unidade — com capacidade total	57	1955

Accelerators instalados fóra dos Estados Unidos:

Djakarta — Java, Indonésia, 6 unidades com capacidade total	280	1955
Teheran — Iran — 6 unidades com capacidade total ..	280	1954
São Paulo (*) — Brasil — 3 unidades com capacidade total	260	1957
Manila — Filipinas — 2 unidades com capacidade total	190	1956
Cairo — Egipto — 2 unidades com capacidade total ...	114	1953
Beyrouth — Líbano — 2 unidades com capacidade total	114	1955
Bushey Heath — Hertfordshire — Inglaterra 3 unidades com capacidade total	109	1954
Hanningfield — Essex — Inglaterra — 4 unidades com capacidade total	97	1955
Guadalajara — México — 2 unidades com capacidade total	95	1956



Estação de Tratamento de EL CENTRO — California
Capacidade 57 MLD

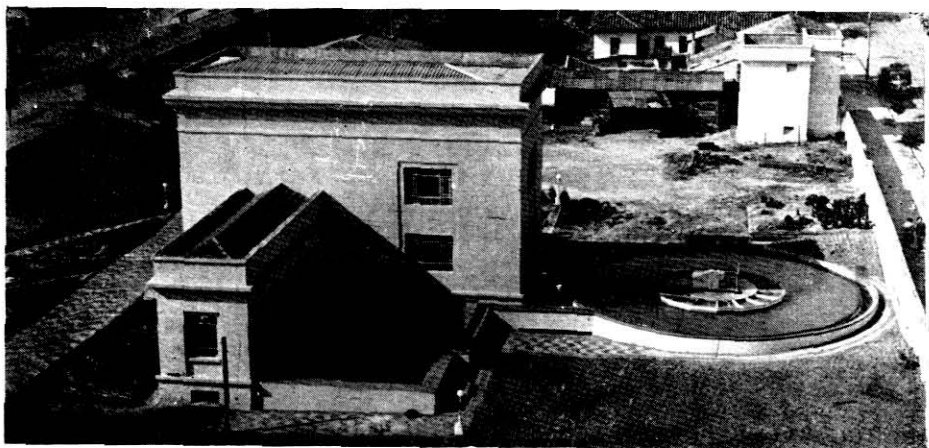
Bukit Nanas — Selangor Malaya — 4 unidades com capacidade total	90	1955
Cordoba — Espanha — 1 unidade com capacidade total	65	1955
Istambul — Turquia — 2 unidades com capacidade total	57	1955
Barranquilla — Colômbia — 2 unidades com capacidade total	45	1954
Bangkok — Tailândia — 2 unidades com capacidade total	43	1955

No Brasil, M. Vieira Martins e J. Faria Jr. ex-engenheiros da Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo, e, J. Orth — ex-técnico da firma alemã Reiser, então trabalhando com a firma Byington & Cia., representante da Infilco Inc., instalaram o primeiro Accelerator em Jundiá (abastecimento público) em 1949.

Desde então esta firma forneceu e instalou Accelerators para:

Frigorífico Wilson (Ponta Grossa)	1950
Fábrica de Papel Simão Racy (São Paulo)	1950

(*) O Departamento de Águas adquiriu 3 unidades, porém, até o momento instalou apenas uma.



Estação de Tratamento de Jundiaí — Capacidade 15 MLD

Cia. Nacional de Estamparia (Sorocaba)	1951	
Vidraría Sta. Marina (São Paulo)	1951	
Escola de Especialistas de Aeronáutica (Guaratinguetá) — (abastecimento público)	1951	(1. ^a unidade)
Itú (abastecimento público)	1952	
Novo Hamburgo (R. G. do Sul) — (abastecimento público)	1952	
Fábrica de Papel N. S. Aparecida	1954	
Fábrica de papel Tanuri (Distrito Federal)	1954	
Fiação, Tecelagem e Estamparia Jafet (São Paulo)	1955	
Escola de Especialistas de Aeronáutica (abastecimento público)	1956	(2. ^a unidade)
D.A.E. (São Paulo) — (abastecimento público)	1957	



Accelerator com 33 m de diâmetro — Capacidade total 86 MLD
Estação de Tratamento de Santo Amaro — Abastecimento da
cidade de S. Paulo

3. DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO ACCELATOR

3.1 – *Tanque externo*

O tanque externo, do Accelator preferencialmente deverá ser circular, podendo entretanto ser quadrado ou retangular.

A forma circular assegura uma simetria muito interessante para as características de funcionamento hidráulico do aparelho.

Numa secção vertical, verifica-se que a parte inferior do tanque circular tem a forma cônica (tronco de cone invertido) terminando numa laje praticamente plana.

No caso do tanque quadrado, em lugar de uma superfície tronco cônica, teremos paredes com inclinação de 45° formando um tronco de pirâmide invertido.

3.2 – *Câmaras de mistura*

Possui o Accelator duas câmaras de mistura e reação que passaremos a denominar *Câmara Primária* e *Câmara Secundária*.

Estas duas câmaras são confinadas por uma estrutura (em chapa de aço ou em concreto armado) que apoia diretamente sobre a laje do fundo do tanque externo. (fig. 1)

A câmara primária tem a forma de uma campânula ou sino, isto é, um tronco de cone, suspenso à uma pequena altura da laje do fundo do aparelho. A câmara secundária tem a forma cilíndrica e apoia-se sobre a câmara primária, com a qual está em comunicação por uma abertura circular.

Nesta abertura está instalado o rotor impulsor.

Em torno da câmara secundária, existe ainda um anteparo também de forma cilíndrica, que passaremos a denominar ANTEPARO DIRECIONAL.

3.3 – *O Rotor – impulsor*

Está instalado entre as 2 câmaras e possui duas partes distintas: a primeira superior, assemelha-se a um rotor de bomba centrífuga com pratos paralelos e paletas planas, a segunda inferior, porém, solidamente ligada a primeira, consta somente de paletas planas verticais fixadas no sentido radial.

O rotor-impulsor é acionado por motor elétrico através de redutor e variador de velocidade.

É instalado de forma a ficar completamente suspenso na plataforma superior. Não possui nenhum ponto de contato com qualquer superfície submersa.

3.4 – *Concentração de lodo*

Em determinado setor do tanque externo e situado na parte inferior do mesmo, encontram-se os concentradores de lodo.

Consistem simplesmente em repartições, nas quais não existe a abertura entre a câmara primária e a laje do fundo do tanque externo.

Estes concentradores possuem fundo afunilado em cujo extremo está instalada a canalização de descarga do lodo respectiva.

Nestas descargas temos as válvulas automáticas acionadas por solenoides, os quais são comandados por relógios elétricos “Timers” de período regulável.

3.5 – *Funcionamento*

A água bruta a ser clarificada penetra no Accelator por meio de canalização quase sem pressão (1,3 a 2,4 metros) sendo conduzida à um anel de distribuição de forma circular com secção triangular.

Este anel possui uma abertura praticada em toda a sua extensão pela qual a água é uniformemente despejada na parte superior da câmara primária.

Ao deixar a canalização de entrada, é o líquido obstado em seu trajeto pela parede interna do anel e adquire regime turbilhonar violento, o qual é particularmente útil para efeito de mistura rápida no caso de aplicação de coagulantes diretamente na canalização de entrada.

O anel distribuidor tem porém como função principal, assegurar uma distribuição uniforme da água bruta por toda a circunferência na zona superior da câmara primária de mistura.

A forma da secção, triangular, foi adotada apenas por razões de facilidade construtiva, aproveitando-se prolongamento da superfície cônica da câmara primária, e da superfície plana de separação entre as duas câmaras.

Na câmara primária de mistura e reação, a água bruta entra em contato com os reagentes químicos e simultaneamente com um volume muito maior de uma lama de flocos recirculados da zona de separação.

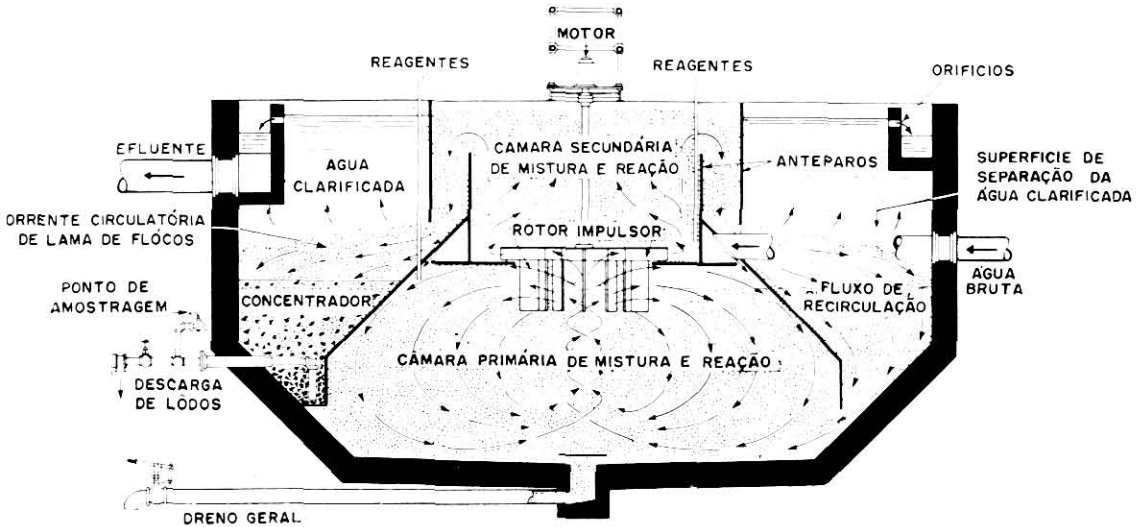


Fig. 1

Os americanos denominam este líquido "slurry", e neste trabalho será usada a expressão *lama*, para distingui-lo dos sólidos já separados e concentrados que designaremos por *lodos* em correspondência ao *sludge* do inglês.

Em resumo, chamaremos le lama à massa de flocos em circulação dentro do aparelho e de *lodo* à massa de flocos em repouso nos concentradores.

O rotor impulsor possui dupla função:

- provocar a mistura intensa, entre água bruta, reagentes químicos e lama recirculada, na câmara primária, mantendo em suspensão os sólidos nela contidos.
- bombear para a câmara secundária volume apreciável do líquido misturado na câmara primária. A água bruta pois após sofrer uma mistura de aproximadamente 20 minutos é bombeada para a câmara secundária, na qual passa a um regime menos agitado e elevando-se gradualmente verte pelo bordo superior da mesma.

Adquire então direção vertical dirigida para baixo pelo Anteparo direcional, sendo desta forma despejada no tanque externo aproximadamente à meia profundidade e num círculo central. Deste círculo o fluxo é aproximadamente radial.

A maior parte dirigida para o fundo do tanque retorna à câmara primária. Uma pequena parte constituída pela água clarificada eleva-se no tanque externo e é recolhida pelo sistema de calhas coletoras.

No setor dos concentradores, não é permitida a recirculação, e aí o lodo vai se concentrando, sendo descarregado periodicamente de forma automática.

4. CONDICIONAMENTO DE FLOCOS NO ACCELATOR

4.1 — Diferença essencial entre a floculação obtida nos processos convencionais e nos processos de alto rendimento.

Nos sistemas convencionais é generalizada a distinção (8) entre duas fases no processo de clarificação com auxílio de ingredientes químicos.

- 1.^a) A coagulação, i. é a hidrólise dos coagulantes ou formação de flocos submicroscópicos, coloidais de hidróxido de alumínio ou de ferro, com subsequente adsorção de partículas coloidais circunjacentes.
- 2.^a) A floculação ou ação de mistura lenta cujo objetivo é incrementar os choques e contatos entre os flocos e partículas coloidais em suspensão, afim de que por aderência ou coalescência seja obtido o aumento do tamanho destes flocos e facilitada sua separação do líquido por sedimentação posterior. Alguns floculadores mecânicos possuem também a finalidade de resuspender flocos mais pesados que tendem a se depositar na própria câmara de floculação.

Esta ação de revolvimento lento, é efetuada nos processos convencionais em tanque onde o líquido é mantido por um período de 30 a 45 minutos. Entretanto, mesmo nas melhores condições de operação o tamanho dos flocos conseguido é tão pequeno que um período posterior de sedimentação de 4 a 6 horas é usualmente recomendado.

Nas unidades de clarificação, de "alto rendimento" do tipo de percolação, através de manto de lodos verifica-se considerável melhoria na formação dos flocos, porque logo após à mistura vigorosa com os coagulantes químicos é o líquido obrigado a atravessar uma massa muito densa de lodo previamente formado.

Elevando-se através de um leito de lodos, os flocos e partículas coloidais são captadas e separadas do líquido que é desta forma clarificado.

Estas unidades, em virtude dos benefícios obtidos com este melhoramento apesar de serem usualmente desenhadas com períodos de mistura de 30 a 40 minutos, possuem um período de retenção total de apenas 1,5 a 2 horas.

4.2 – Características hidráulicas da floculação no Accelerator

No Accelerator a floculação é ainda mais aperfeiçoada, pois a água bruta reage com os coagulantes em presença de uma lama de flocos de tamanho e consistência muito superiores aos obtidos nos processos anteriores, sendo todo o sistema submetido a um revolvimento sob condições controladas, durante um período de 20 minutos na câmara primária.

Do ponto de vista da mecânica dos fluidos a floculação produzida com auxílio de rotor do tipo empregado no Accelerator é um processo de mistura, cuja intensidade ótima situa-se entre 2 limites:

- 1 – escoamento ou descarga produzida pelo rotor, suficiente para atingir resultados satisfatórios do processo, dentro de dimensões econômicas do tanque e do rotor;
- 2 – condições de cisalhamento existentes entre os filetes líquidos que não deve ultrapassar o limite máximo ao qual poderá resistir um floco de bom tamanho sem se desagregar.

É possível pois adotar-se um tipo standard de rotor e variando-se a relação entre as dimensões do mesmo e do tanque determinar-se o regime ótimo para a floculação.

No Accelerator este regime é conseguido pelo rotor através do movimento circular das paletas verticais mergulhadas na parte superior da câmara primária, movimento este que induz no líquido uma força centrífuga deslocando-o radialmente para a periferia da zona superior da câmara. Ao mesmo tempo a depressão creada por baixo do rotor, provoca a formação de corrente de sentido inverso, isto é, da periferia para o centro na zona inferior da câmara.

O líquido pois revolve sobre si mesmo, sendo as linhas de fluxo indicadas na figura n.º 1.

O escoamento produzido por uma série de rotores geomêtricamente semelhantes é proporcional à velocidade da rotação e ao cubo do diâmetro (9).

$$Q = K.N.D.^3$$

O nível de cisalhamento máximo permitido nos processos de floculação é baixo e geralmente nos casos correntes na prática lidamos com grandes volumes de água.

Estas condições, grandes escoamentos sob nível relativamente baixo de cisalhamento são creadas por rotores de grande diâmetro e baixa rotação em contraposição aos rotores de

pequeno diâmetro e alta rotação, os quais produzem pouco escoamento sob altos níveis de cisalhamento no fluido:

A potência consumida é diminuta.

Os rotores do Accelerator são dimensionados para produzir um revolvimento completo do volume contido na câmara primária de mistura em cada minuta.

A câmara é dimensionada para um tempo de retenção de 20 minutos (não considerada a recirculação).

Podemos dizer pois que aproximadamente o rotor é dimensionado para produzir um escoamento na câmara primária de mistura, vinte vezes superior ao da vazão para a qual é calculado o Accelerator, o que serve para dar uma idéia da intensidade desta mistura.

A teoria sobre suspensões floculadas que sedimentam num líquido em repouso desenvolvida por Von Smoluchowski (10) indica que o número de contatos (e consequentemente número de possíveis agregações) é dado pela expressão:

$$N = n_1 n_2 \frac{\pi}{4} (D_1 + D_2)^2 (v_1 - v_2)$$

onde

n_1 = número de partículas de diâmetro D_1 por unidade de volume

v_1 = velocidade de sedimentação das partículas de diâmetro D_1

n_2 = número de partículas de diâmetro D_2 por unidade de volume

v_2 = velocidade de sedimentação das partículas de diâmetro D_2

N = número total de contatos por unidade de volume e de tempo.

Esta fórmula mostra que a possibilidade de contatos é maior para grandes concentrações de partículas de maior tamanho, maior peso ou densidade, e para maior diferença de velocidades de sedimentação, as quais por sua vez são também proporcionais aos respectivos diâmetros.

Para líquidos submetidos a regimes de escoamento onde seja sempre mantido um gradiente de velocidade médio a teoria (11) indica que o número total de contatos por unidade de volume e de tempo é:

$$N = n_1 n_2 \frac{1}{6} G (D_1 + D_2)^3$$

onde G = representa o gradiente médio temporal de velocidade.

Nos processos clássicos ou convencionais os valores de n_1 e n_2 , D_1 e D_2 são muito pequenos e próximos uns dos outros respectivamente.

No accelerator porém teremos os flocos sub microscópicos de hidróxido de alumínio e as partículas coloidais (com n_1 e D_1 exatamente nas mesmas dimensões e quantidades dos processos convencionais) colocados imediatamente em contato íntimo com uma lama de flocos previamente formados (grande número de partículas por unidade de volume — alto n_2), retornados da zona de separação de sólidos e de diâmetro médio (D_2) muito superior ao obtido nos processos convencionais.

Haverá portanto, e a prática confirma a teoria, muito maior oportunidade para contato e consequente crescimento dos flocos.

Sob este ponto de vista pois, os aperfeiçoamentos introduzidos à técnica da floculação pelo Accelerator consistem na elevação dos valores de n_2 e D_2 na fórmula acima, e um controle mais flexível das condições que propiciam o gradiente G mais favorável.

4.3 — Influência da recirculação

Um outro fator que influe preponderantemente nas condições de floculação é a recirculação.

A câmara primária de mistura não é fechada completamente. Pode-se ver no corte esquemático que a superfície tronco-cônica é interrompida próximo à base do tanque externo, ficando em quase toda a periferia da mesma (com exceção do setor dos concentradores) uma abertura pela qual reflue a corrente circulatória da lama de flocos.

Esta corrente circulatória que é produzida pela ação do rotor, possui uma vazão 4 a 5 vezes superior à do aparelho.

Suponhamos que a floculação seja processada unicamente na câmara primária de mistura (na realidade em todo o percurso desta corrente circulatória de lama os sólidos estão permanentemente entrando em contato, porém, na câmara de mistura as condições para tal são muito superiores).

Poderemos então em primeira aproximação esquematizar o processo da floculação no Accelerator como na fig. 2.

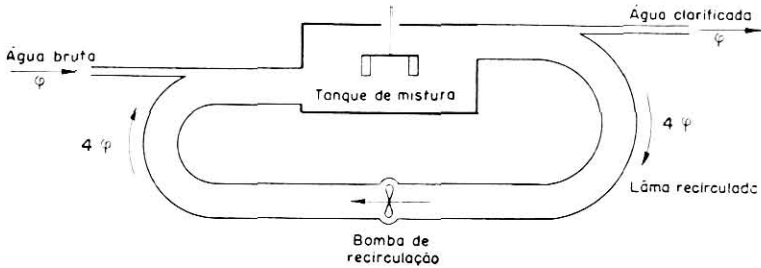


FIG. 2 - ESQUEMA DA RECIRCULAÇÃO DA LÂMA DE FLOCOS NO ACCELERATOR

Chamamos Q a vazão do aparelho.

Q_R a vazão de recirculação = 4 a 5 Q .

A relação entre Q e Q_R é denominada relação de recirculação.

$$R = \frac{Q_R}{Q} = 4 \text{ a } 5$$

Chamamos fator de recirculação do processo $F_p = \frac{1+R}{(1+ER)^2}$ que representa o número efetivo de passagens (desprezando ainda os curto-circuitos) de um determinado volume pelo processo, o qual é sempre maior que a unidade.

Fazemos referência a estes aspectos teóricos da recirculação neste trabalho, simplesmente com o objetivo de indicar a influência que deve ter o mesmo no processo propriamente dito da floculação, e, para que possa o leitor melhor compreender as razões pelas quais é quase sempre possível obter-se neste aparelho um floco maior e mais denso que nos processos convencionais ou nos processos de alto rendimento, que funcionam segundo o princípio de percolação através de um manto de lódos.

Um outro efeito benéfico da recirculação reside na capacidade de amortecer as variações súbitas na qualidade de água bruta, uniformizando desta maneira as características do influente.

5. SEPARAÇÃO DINÂMICA

5.1 - Teoria da Sedimentação

É oportuno abrirmos um parêntesis na descrição do Accelerator para examinarmos com mais detalhe a questão da sedimentação de sólidos em suspensão, afim de que melhor possamos precisar os aperfeiçoamentos introduzidos com este aparelho.

A velocidade de sedimentação de partículas sólidas isoladas num líquido em repouso não perturbado, depende de muitos fatores entre os quais a densidade, tamanho e forma da partícula, densidade e viscosidade do fluido.

A viscosidade do fluido por sua vez varia muito com a temperatura, e este é um ponto de grande importância em nosso país, devido às grandes mudanças de temperatura que podem ocorrer num período de 24 horas.

A fig. 3 apresenta algumas expressões analíticas, propostas para representarem a resistência ao arraste de corpos sólidos dentro de determinados limites do número de Reynolds.

Para cada um destes intervalos teremos então a velocidade de sedimentação obedecendo a uma expressão analítica diferente.

Uma suspensão de partículas sedimenta à velocidades inferiores as correspondentes à sedimentação de cada partícula considerada individualmente.

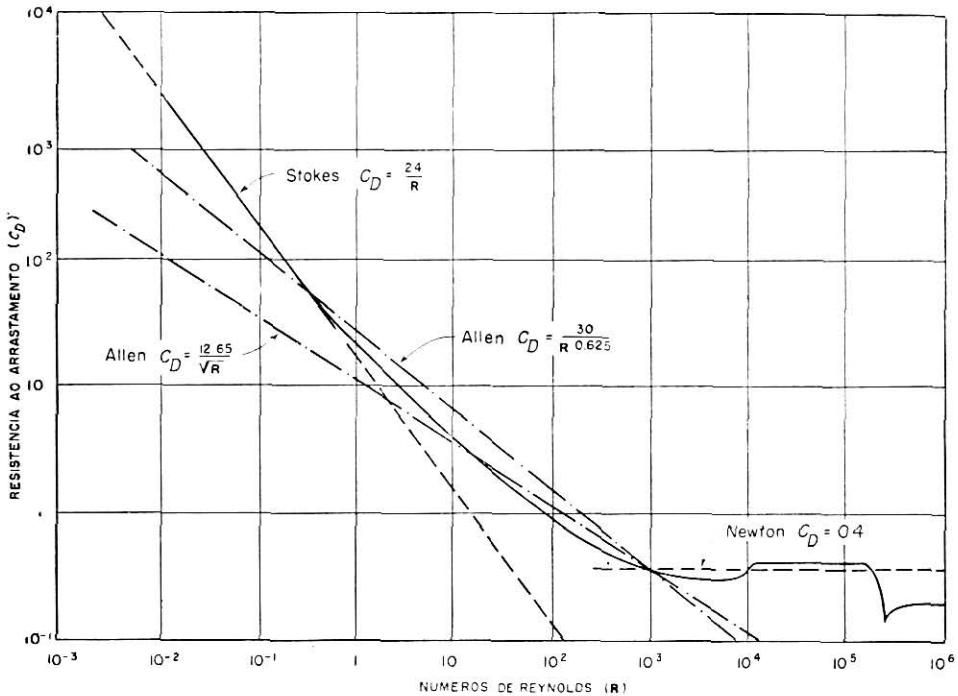


FIG 3 - RESISTÊNCIA AO ARRASTAMENTO (DRAG) E O NÚMERO DE REYNOLDS

Publicado em 1954 (10)

Verifica-se que a velocidade de sedimentação diminui à medida que a concentração aumenta.

Explica-se o fato, pois para grandes concentrações a sedimentação das partículas provoca apreciável deslocamento do fluido que as contem, criando verdadeira contra corrente ascendente que vem a interferir com o movimento dos sólidos em sedimentação.

Este fenômeno denominado "hindered settling" principia quando os sólidos em suspensão ocupam mais que 1% do volume original da mistura.

Em peso esta porcentagem corresponde a algumas centenas de p.p.m. para sólidos do tipo de flocos do hidróxido de alumínio, ferro ou magnésio.

Experiências (14) feitas com suspensões de importância para determinados processos químicos, e especialmente com suspensões de alúmen e carbonato de cálcio são indicados na fig. 4, na qual a velocidade de sedimentação é colocada em correspondência com a fração sólida i.é o quociente entre volume de sólidos decantados e o volume inicial da suspensão. À baixas concentrações, a velocidade de sedimentação da suspensão aproxima-se da velocidade de sedimentação de uma partícula isolada.

Porém à concentrações maiores, esta velocidade vai diminuindo e para valores de fração sólida abaixo de 15% decresce apreciavelmente.

Os trabalhos de Camp e Hazen sobre sedimentação demonstram sobejamente que o fator principal para o desenho de decantadores convencionais é a chamada taxa de escoamento superficial (rise rate or over flow rate). A profundidade dos tanques deve também ser considerada, pois deverá ser prevista uma altura de água clarificada suficiente para permitir uma distribuição uniforme da velocidade ascensional da mesma (nas unidades de fluxo vertical) e uma altura suficiente de lodos decantados deve ser prevista nas unidades de fluxos horizontais. Além disso a profundidade deve ser equilibrada com a largura, de molde a permitir velocidades baixas nos tanques convencionais, afim de evitar arrastamento de lodos decantados).

Consideremos um tanque com profundidade H – comprimento L e largura B, atravessado por uma corrente líquida de vazão Q.

A velocidade média da corrente (horizontal) será:

$$V = \frac{Q}{bH} \text{ e } Q = V b H$$

Consideramos uma secção vertical longitudinal do tanque.

Seja v_0 a velocidade de sedimentação de uma partícula individual num fluido em repouso.

Qualquer partícula que sedimenta num fluido em movimento, terá uma trajetória cuja direção e velocidade serão dadas pela soma vetorial de sua própria velocidade de sedimentação gravítica e da velocidade do fluido que a contém.

Numa bacia ideal retangular as trajetórias das partículas serão linha retas como como indicadas na fig. 5.

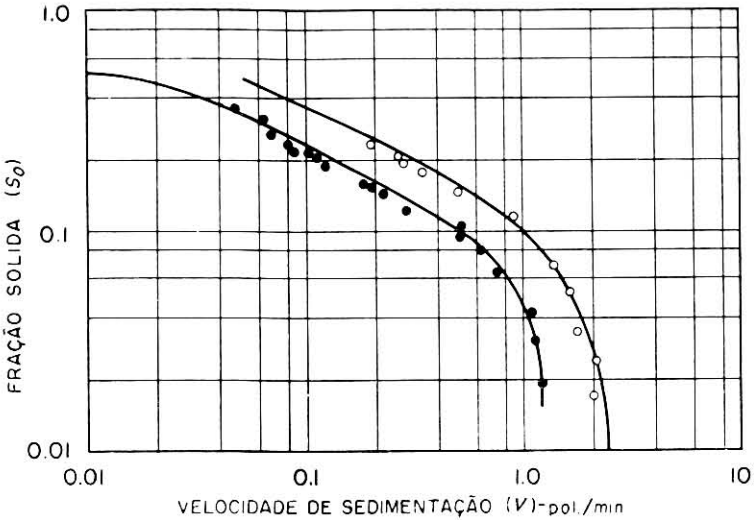


FIG. 4 - VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DE SUSPENSÃO.
(Publicação por Kalinske. (5))

Tôdas as partículas com velocidade de sedimentação iguais ou maiores que v_0 assentarão no fundo do tanque.

Mas a remoção das partículas com velocidades de sedimentação v menores que v_0 será igual à relação $\frac{bc}{ac}$. Da igualdade de triângulos, a relação de remoção será $v_r = \frac{v_0}{v}$

Para valores de $v = v_0$ – teremos a bacia ideal $V_r = 1$

- $v > v_0$ – " " superdimensionais
- $v < v_0$ – " " subdimensionais

v_0 é pois o valor crítico para o dimensionamento das bacias de decantação.

Considerando novamente a fig. 5 podemos ver que

$$\frac{v_0}{v} = \frac{H}{L} \text{ ou } v H = v_0 L$$

multiplicando ambos os termos por b

$$v b H = v_0 L b$$

$$\text{porém } v b H = Q \text{ e } Q = v_0 L b$$

$$\text{e portanto } v_0 = \frac{Lb}{Q} \quad v_0 = \frac{Q}{A}$$

v_0 é pois o quociente da vazão pela área superficial do decantador que, é denominado taxa ou coeficiente de escoamento superficial (rise or over flow rate).

Pela lei de Stokes

$$d_0 = k (v_0)^{1/2} = k \left(\frac{A}{Q} \right)^{1/2}$$

onde d_0 é o diâmetro da menor partícula que será completamente removida da suspensão, e teoricamente depende pois da taxa de escoamento superficial.

Esta teoria é válida rigorosamente para partículas consideradas sedimentando sem influências outras, além do próprio peso, forma, tamanho, densidade e viscosidade do fluido.

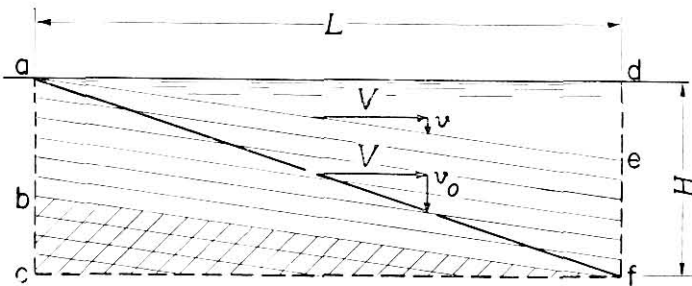
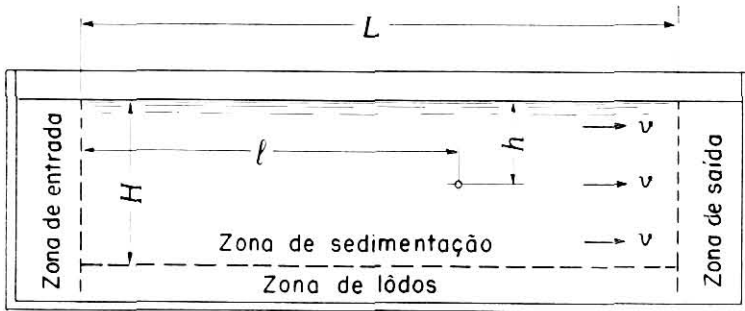


FIG. 5 — BACIA RETANGULAR DE SEDIMENTAÇÃO IDEAL

Da teoria acima segue-se que o tanque mais econômico será àquele com a menor profundidade possível para superfície determinada pela taxa de escoamento superficial exigida pelas partículas a serem removidas.

Para uma taxa fixada de escoamento superficial e para um comprimento do tanque também fixado, a velocidade horizontal da água variará inversamente com a profundidade.

Então a menor profundidade é fixada pela velocidade máxima permissível, sem carregamento dos lodos depositados no fundo (sludge scour).

Como taxas de escoamento superficial típicas para decantadores convencionais temos: Flocos alumínio (clarificação) — 0,25 a 0,4 gpm/ft².

Flocos de carbonato de cálcio (abrandamento) — 0,3 a 0,75 gpm/ft².

De um modo geral podemos indicar a correlação entre a taxa de escoamento superficial e o período de retenção e a profundidade dos tanques decantadores retangulares convencionais.

$$Q = 0,41 \frac{T}{h}$$

onde Q (taxa de escoamento superficial) é dado em galões por minuto por pé quadrado, h é a profundidade em metros e T o tempo de retenção em horas. Entretanto, os decantadores convencionais, possuem um rendimento muito baixo e exigem área muito grande.

Capem (12) realizou um estudo em mais de 200 bacias de sedimentação no Estado de New Jersey.

Nêste estudo, definiu:

- a) Período de passagem (p) (flowing through period) é o período médio necessário para que um pequeno volume de líquido, atravesse completamente a bacia de decantação à determinada vazão.

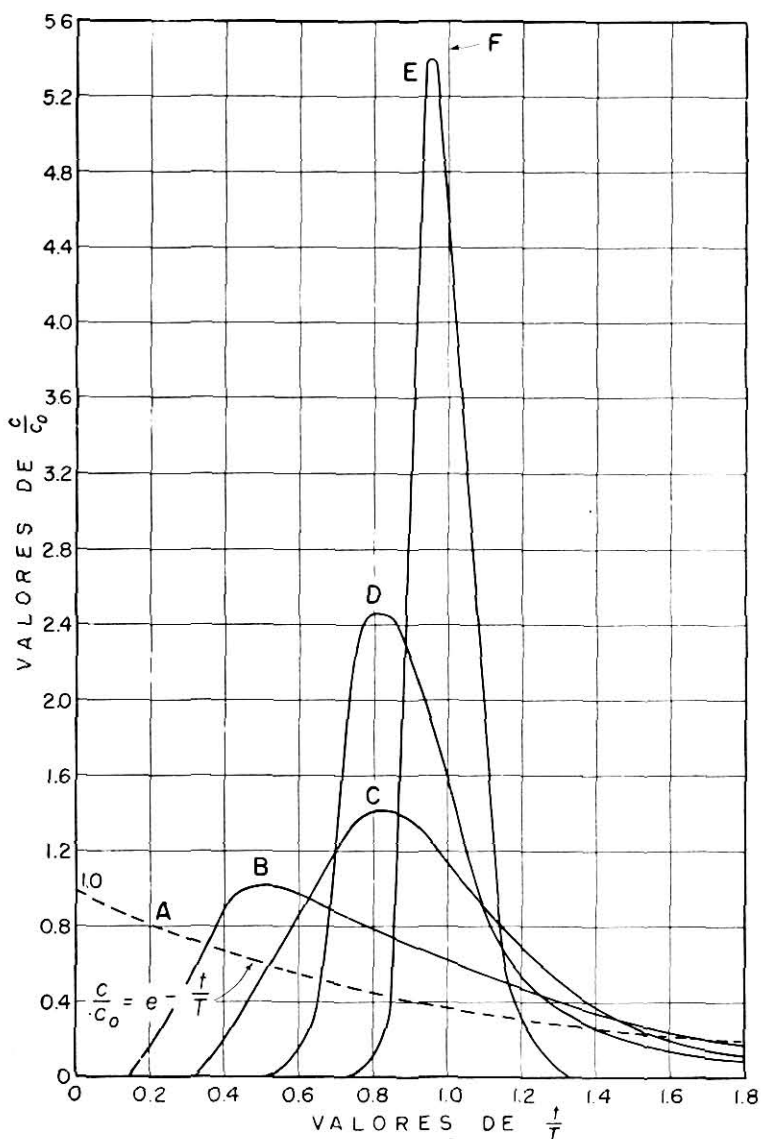


FIG 6 - CURVAS DE DISPERSÃO CARATERISTICAS

(Publicado por Camp (13))

- b) Período de retenção (t) (Retention period) é o período necessário para encher a bacia à determina vazão.

- c) Eficiência de deslocamento (E) (displacement efficiency) — $E = 100 \frac{p}{t}$

Em seu estudo Capem verificou que a eficiência de deslocamento variava de 7% à 48%.

A eficiência de deslocamento de uma bacia de sedimentação depende de vários fatores entre os quais de suas características geométricas, zonas mortas, formação de correntes de densidades diferentes e ventos (desenho dos sistemas de entrada e saída da água etc...).

O estudo da eficiência é em geral feito com modelos construídos com semelhança hidráulica obedecendo a lei de Froude, isto é, que tenham o mesmo número de Froude que tem o protótipo.

Substâncias químicas corantes, ou facilmente identificáveis (radioativas) são então adicionadas em quantidades rigorosamente medidas ao influente. A concentração destas substâncias passa a ser verificada à intervalos regulares no efluente do tanque.

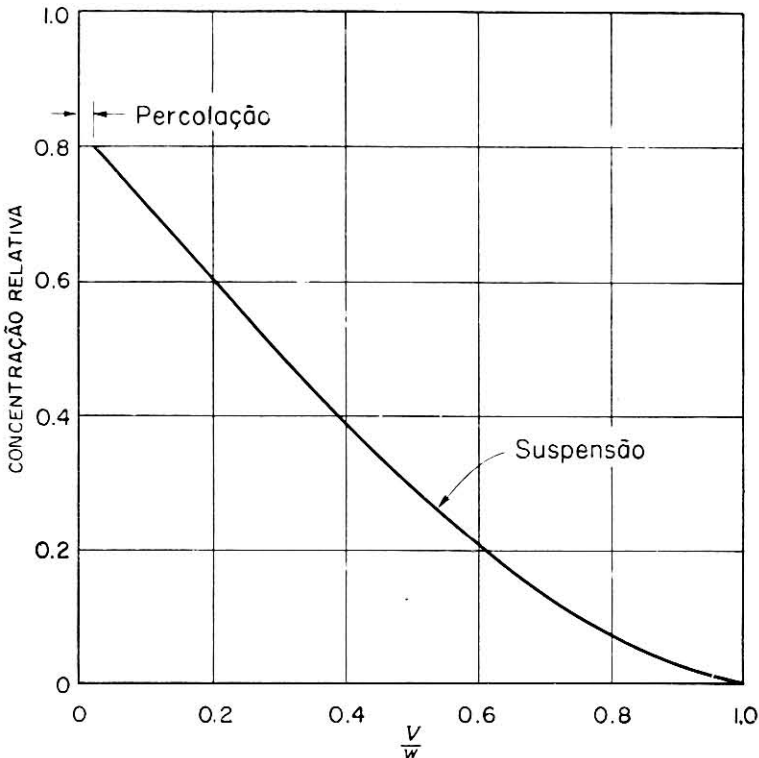


FIG. 7 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO COM A VELOCIDADE ASCENSIONAL DO LÍQUIDO E A VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DA SUSPENSÃO.

(Publicado por Kalinske-19)

Os valores das concentrações medidas no efluente, quando colocadas num gráfico em correlação com os intervalos de tempo, permitem traçar uma curva que indica as características do escoamento no tanque respectivo.

Abordando este assunto Camp (13) chamou: C_0 - concentração teórica que se obteria se a quantidade total de substância traçadora fosse diluída instantaneamente pelo volume total do tanque.

C - concentração medida no instante t .

T - Período de retenção do tanque.

A figura n.º 6 indica a correlação entre a concentração relativa $\frac{C}{C_0}$ o tempo relativo $\frac{t}{T}$ ambos valores sem dimensão e que permitem o traçado das chamadas curvas de dispersão, características do escoamento de cada tipo de tanque.

A figura mostra quatro curvas de dispersão, medidas em diferentes tanques de sedimentação ou de mistura, reais, e que se situam entre os dois casos limites:

TABELA I

CURVAS CARACTERÍSTICAS
DE
BACIA DE SEDIMENTAÇÃO

b = largura v = velocidade $F = n.^{\circ}$ de Froude.
 h = profundidade t_i = tempo do aparecimento da substância traçadora no efluente.
 l = comprimento t_a = tempo de passagem (correspondente ao centro de gravidade da área).

CURVA (veja fig. 6)	TIPO DO TANQUE	b (ft.)	H (ft)	L (ft)	\bar{v} (ft per min.	$F = \frac{V^2}{g_x}$	$\frac{t_i}{T}$	$\frac{t_a}{T}$
A	Tanque de dispersão ideal	—	—	—	—	—	—	0,693
B	Circular de fluxo radial	—	14,2	(diâmetro 200)	1,11	$7,5 \times 10^{-7}$	0,14	0,831
C	Retangular largo	135	18,5	330	3,12	$5,8 \times 10^{-6}$	0,30	0,925
D	Retangular estreito	16	14	273	5,17	$4,53 \times 10^{-5}$	0,52	0,903
E	Tanque de mistura com baffles (chicanas)	2	22,3	1056	66,6	4×10^{-2}	0,74	0,988
F	Tanque de fluxo ideal	—	—	—	—	—	1,0	1,0

Curva A – Correspondente ao tanque de dispersão ideal, no qual o influente é instantânea e uniformemente disperso em todo o volume do tanque.

$$\text{É dada pela curva } \frac{C}{C_0} = e^{-\frac{t}{T_0}}$$

Vertical F – Correspondente ao tanque de escoamento ideal no qual a velocidade é a mesma em todos os pontos do tanque e o período de passagem é igual ao período de retenção. É dada pela linha vertical de

$$\frac{t}{T} = 1.$$

Podemos dizer de uma forma geral que para efeito de sedimentação, o tanque de dispersão ideal é o de menor eficiência e o tanque de escoamento ideal é o de maior eficiência, ambos entretanto são irrealizáveis na prática.

As curvas B C D e E são curvas de dispersão características de tanques de tipos progressivamente mais eficientes, e cujas características principais são indicadas na tabela I apresentada no trabalho acima referido de Thomaz R. Camp. Em particular a curva E refere-se à um tanque de mistura com quinze baffles verticais (chicanas).

Tendo-se em vista o baixo rendimento dos tanques de sedimentação, e com objetivo de evitar a enorme imobilização da área e de estruturas de concreto armado que demandam, as pesquisas neste setor levaram a procurar a separação entre sólidos e líquidos por outros processos.

5.2 – Unidades de alto rendimento denominadas de “manto de lodos”

Quando um dos objetivos principais é a redução de área necessária e portanto diminuição de dimensões em plano horizontal, a intuição e o bom senso estão a indicar o fluxo vertical do líquido como o primeiro processo a ser pesquisado.

A velocidade de sedimentação de uma suspensão de sólidos determina a máxima velocidade ascensional do líquido capaz de manter a suspensão com sua concentração original.

Experiências minuciosas (15) realizadas na Universidade de Iowa permitiram a obtenção de resultados que podem ser generalizados.

Quanto a água é forçada em movimento vertical ascensional através de um leito de partículas sólidas, à velocidades cada vez maiores, ocorre a seguinte sequência de eventos:

- 1 – A velocidade ascensionais muito baixas da água, as partículas mantem aproximadamente suas posições iniciais e o líquido percola através do leito.
- 2 – A medida que a velocidade aumenta, a camada superior de partículas é carregada em suspensão.
- 3 – Aumentando a velocidade vai-se carregando cada vez maior quantidade de sólidos até que finalmente todo o leito é pôsto em suspensão.

A concentração relativa depende pois da velocidade de sedimentação do material em suspensão (w) e da velocidade da corrente ascensional (V).

$$C = K \left(1 - \frac{V}{w} \right)^{3/2} \quad (\text{Fig. 7})$$

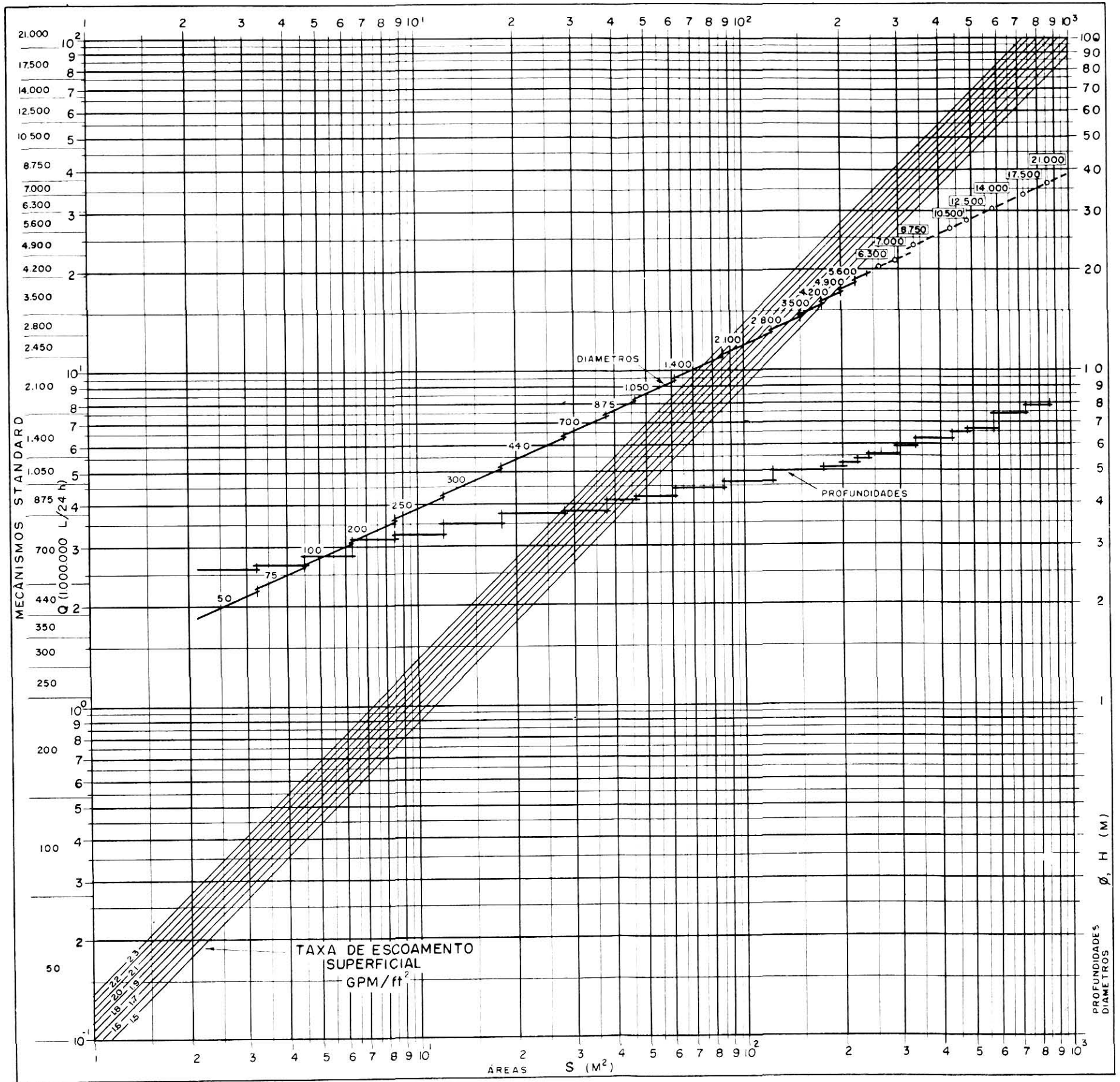
Nas unidades de clarificação de alto rendimento do tipo de percolação através de um leito de lodos, a velocidade de sedimentação da suspensão determina pois, o máximo coeficiente de escoamento superficial que a unidade pode suportar.

Um aumento na concentração do leito de lodos ou diminuição de temperatura, provocam a diminuição da velocidade de sedimentação da suspensão e em consequência a diminuição do coeficiente de escoamento superficial máximo suportável pelo aparelho.

As partículas a serem removidas nos processos de clarificação de águas, são de natureza muito variada.

Podem ir de pequeninos grãos de areia, sílica finamente dividida (silte) com 2,6 de densidade, até flocos de hidróxido de alumínio, com 95% de água e densidade de 1,002.

NOMOGRAMA PARA ANTEPROJETO DO ACCELERATOR



Os flocos de hidróxido de alumínio ou ferro, podem contar até 20 mols de água por mol, imediatamente após à reação química.

Suas densidades então estarão entre 1,18 e 1,34. Mantidos porém algum tempo na água, em condições hidráulicas, favoráveis à floculação, vão crescendo pela captação de partículas em suspensão ou coalescência com outros flocos. Da qualidade da matéria sólida emaranhada na estrutura dos flocos, dependerá sua densidade.

Argila e silte aumentarão a densidade, matéria orgânica, còr, etc., diminuirão a densidade.

O tamanho dos flocos poderá ir de sub-microscópico à alguns milímetros.

Grãos de areia, argila e silte poderão ter diâmetros de até 10^{-3} cm, e velocidade de sedimentação de $6,3 \times 10^{-3}$ cm/seg. (10°C).

Para remoção destas partículas sem o recurso da coagulação química e floculação, seria necessário um coeficiente de escoamento superficial de 0,1 gpm/ft².

Flocos de Alumínio ou de Ferro com densidade 1.002 e diâmetro de 0,1 cm, possuem velocidade de sedimentação a 10°C da ordem de 5×10^{-2} cm/seg., a 10×10^{-2} cm/seg.,

A remoção destes flocos pode ser feita com um coeficiente de escoamento superficial de 0,75 a 1,5 gpm/ft².

Nos processos de abrandamento de águas com uso da cal e sòda, as partículas em suspensão consistem principalmente de cristais de CaCO_3 com densidade 2,7 e diâmetros de 15 a 20 microns. Estes partículas aglomeram-se em flocos de 0,1 mm, de diâmetro com 75% de água e densidade 1,2. Sua velocidade de sedimentação é de ordem de 6×10^{-2} cm/seg., que corresponde à um coeficiente de escoamento superficial de 0,88 gpm/ft².

Nos casos da prática, as unidades de alto rendimento que funcionam sob o princípio de percolação através de leito de lamas são projetadas para coeficientes de escoamento superficial de 1 a 1,5 gpm/ft², sendo os períodos de retenção reduzidos para 1,5 à 2 horas.

5.3 - Características da separação de líquido - sólidos no Accelerator "Separação dinâmica"

No Accelerator não existe a percolação descrita acima, nem existe leito de lódos em suspensão.

Há uma massa fluida (lama) de lódos em circulação, a qual passa pelo tanque externo com um movimento dirigido para baixo e à apreciável velocidade.

Da superfície desta massa desprende-se com ângulo de aproximadamente 90° a água clarificada que se eleva lentamente com velocidade inferior a velocidade de sedimentação das partículas sólidas, e portanto incapaz de arrastá-las, sendo recolhida pelas calhas superiores.

Examinando uma secção reta vertical do aparelho (fig. 1), vemos que a corrente de lama de flocos que possuía direção vertical ao deixar a câmara secundária é obstada por um plano a 45° da sua direção, que provoca a deflexão dos filetes fluidos ao mesmo tempo em que a velocidade da corrente é amortecida a medida que o líquido vai se afastando radialmente do centro do tanque, e a sua energia cinética dissipada em movimentos turbilhonares.

Do total do líquido despejado desta forma no tanque externo por unidade de tempo, uma quarta ou quinta parte (volume igual ao que penetra no Accelerator por unidade de tempo) eleva-se até as calhas coletoras, e o restante é dirigido para a zona inferior do tanque externo, passando novamente por baixo da campânula tronco cônica e voltando ao interior da câmara primária de mistura e reação.

Forma-se pois no tanque externo, aproximadamente na altura do bordo inferior do anteparo cilíndrico por onde é despejado a lama de flocos, uma zona onde o movimento do fluido é mais ou menos radial em planos pouco inclinados, quase horizontais e em regime turbilhonar. Imediatamente acima desta zona o movimento do líquido é ascendente predominantemente vertical, e sua velocidade é reduzida à apenas 1/5 ou 1/6 da velocidade com que a lama de flocos é circulada e dirigida para baixo.

Nestas condições a velocidade de elevação da água é mantida sempre com valores inferiores ao da sedimentação livre de flocos isolados, os quais portanto não serão por ela arrastados.

Verifica-se pois neste processo que a água clarificada em lugar de percolar através de um leito denso de flocos, é extraída permanentemente da superfície externa de uma massa formada pela corrente circulatória da lama de flocos.

Esta é outra característica essencial do Accelerator que se denomina separação dinâmica, e que permite que a velocidade ascensional da água clarificada e portanto o coeficiente de escoamento superficial seja mais elevado que nas unidades que funcionam pelo princípio de percolação através de um leito mais ou menos estático de lodos.

O Accelerator é projetado para coeficientes de escoamento superficial de 1,5 a 2,25 gpm/ft², existindo vários casos de funcionamento com taxas ainda superiores.

O período de retenção é de 1 a 1,5 horas.

6. CONCENTRADORES E DESCARGA AUTOMÁTICA DO LODO

No Accelerator, convém que a lama circulante seja mantida sempre com alta concentração, afim de oferecer a maior superfície possível para *contáto com as partículas em suspensão* na água bruta.

Entretanto, se a concentração de sólidos em suspensão nesta lama circulante, ultrapassar um determinado valor, haverá uma diminuição pronunciada na quantidade (em peso) de sólidos que sedimentam na unidade de tempo, e serão necessárias grandes áreas para concentrar e remover os excessos de lodos formados.

Chamando C_r = concentração em peso dos sólidos existentes na água bruta, mais os formados pelas reações químicas.

C_s = concentração em peso dos sólidos existentes na lama circulante.

Q = A vazão que atravessa o aparelho.

V = Velocidade de sedimentação da suspensão.

A = Área disponível para esta sedimentação.

Podemos dizer que, na unidade de tempo o peso total de sólidos que penetram ou são formados no aparelho é:

$$C_r \cdot Q$$

e a quantidade em peso de sólidos que sedimentam através da área A na unidade de tempo é:

$$C_s \cdot V \cdot A.$$

Para que seja mantida constante a concentração de sólidos na lama circulante, é necessário que:

$$C_r \cdot Q = C_s \cdot V \cdot A.$$

A equação acima pois pode ser utilizada para o dimensionamento dos concentradores de lodo

$$A = \frac{C_r}{C_s} \cdot \frac{Q}{V} \quad (16)$$

Os concentradores são compartimentos situados num determinado setor (em planta) do tanque externo, e construídos simplesmente pelo fechamento da abertura de recirculação do lodo, entre a câmara primária e a laje do fundo do tanque externo e a execução de paredes laterais radiais de altura conveniente.

Quando se trata de casos, em que os flocos são pouco densos (águas coloridas, baixa turbidez) é usual a construção de baffles sobre a área dos concentradores, para evitar o revolvimento do lodo em concentração pela ação dinâmica da corrente circulatória de lama.

Os concentradores possuem fundo afunilado, onde o lodo vai se acumulando em camadas progressivamente mais densas e espessas.

Periódicamente um solenoide abre a válvula de descarga verificando-se assim a remoção dos sólidos sedimentados, com muito pequena perda de água.

O solenoide é comandado por um relógio elétrico, que realiza um ciclo completo cada 5 minutos ou sejam 300 segundos. O dispositivo de regulação permite manter os contatos abertos em percentagem do período deste ciclo.

O número de concentradores é uma função da quantidade total de sólidos que se espera sejam produzidos no aparelho.

Este sistema de descarga automática de lodos, elimina completamente, as paralizações para limpezas, operações de rotina nas bacias de sedimentações convencionais.

* * *

7. SISTEMA COLETOR DE ÁGUA CLARIFICADA

O sistema coletor de água clarificada consiste numa calha periférica para as unidades menores, e uma série de calhas radiais nas unidades maiores.

Estas calhas estão situadas na superfície do tanque externo na zona limitada entre a periferia do mesmo e o anteparo direcional.

A profundidade da zona da água clarificada, isto é, acima do plano onde é descarregada no tanque externo a corrente circulatória de lama, é determinada com bastante rigor, afim de permitir um escoamento, o mais uniforme possível da água clarificada para as calhas coletoras.

As calhas radiais, descarregam numa calha circular da qual é então retirada a água clarificada.

8. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO, A CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO, E MANUTENÇÃO DO ACCELATOR.

8.1 — Projeto

A Inflico Inc. possui mais de trinta tamanhos standard de Accelerators com capacidade de clarificação de vazões desde 150 mil litros em 24 horas até 115 milhões de litros em 24 horas.

Os mecanismos, e as dimensões das câmaras de mistura são padronizadas e não podem ser alteradas, usando-se pois sempre o tamanho imediatamente superior e que mais se aproxima da vazão que se deseja.

O diâmetro do tanque externo entretanto poderá variar ligeiramente, caso se deseje usar uma taxa de escoamento superficial, menor.

Apresentamos na fig. 8, um gráfico que poderá auxiliar o preparo de um ante projeto.

Neste gráfico o projetista, partindo da capacidade diária de clarificação em litros por dia e da taxa de escoamento superficial escolhida em galões por minuto por pé quadrado, poderá determinar o diâmetro e a profundidade aproximadas do tanque externo e o número do mecanismo standard a ser utilizado.

Para a escolha da taxa de escoamento superficial, na maioria dos casos é suficiente um "jar test" que permita conhecer a natureza dos flocos e velocidade de sedimentação dos mesmos.

Em casos especiais, é aconselhado um ensaio com uma instalação Accelerator piloto.

E quase sempre possível projetar-se um Accelerator no interior de bacias de decantação convencionais.

Convém projetar um regulador de vazão na canalização influente, afim de garantir um resultado uniforme. Quando o aparelho se destina a trabalhar com vazão variável serão necessárias medidas especiais de controle.

8.2 – Construção

O tanque externo poderá ser construído em concreto ou aço.

Em nosso país de uma maneira geral, o tanque externo em concreto é mais econômico e indicado.

Poderá ser construído, totalmente enterrado ou inteiramente acima do solo e até sobre colunas.

As câmaras internas, calhas, baffles etc., poderão ser em chapa de aço nos modelos menores, exigindo entretanto, uma despesa maior de conservação, devido às pinturas sucessivas necessárias.

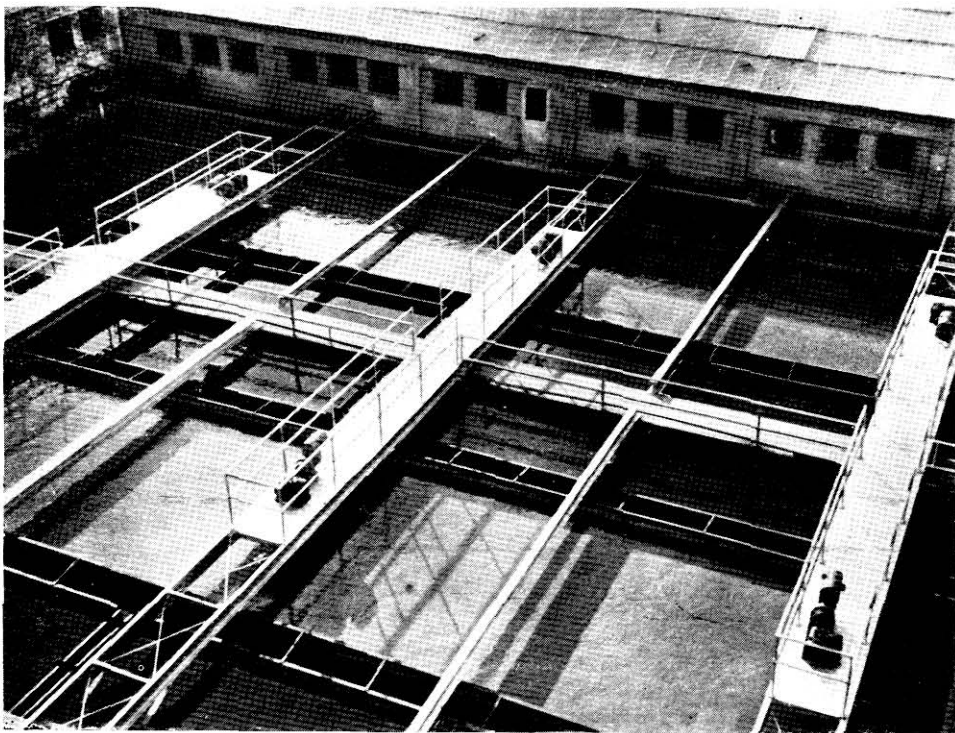
A construção em aço oferece entretanto a vantagem de maior rapidez.

8.3 – Operação

A operação do Accelerator é muito simples, podendo ser realizada por operadores semi especializados.

Três pontos apenas devem ser objeto de atenção do operador:

1 – *dosagem de coagulantes e reagentes químicos.* Da mesma forma que nos processos convencionais o operador deve proceder periodicamente à medida da turbidez, cor, pH, temperatura, etc... da água bruta e levar a efeito o "jar test" afim de determinar as dosagens mais convenientes.



Instalação de Accelerators em bacias retangulares
Lawton, Oklahoma

- 2 — *regime ideal de mistura e recirculação.* O operador deverá inicialmente por tentativas determinar qual a rotação e a abertura do rotor-impulsor, que produzem as melhores condições de floculação e separação dinâmica.

Para tal fim dispõe de um variador de velocidades do rotor impulsor, e de um anteparo metálico em forma de cinta, o qual poderá fechar até cerca de 75% da área de descarga do *rotor-impulsor*.

De uma maneira geral a rotação deve ser sempre mantida a mais alta possível, contrabalançando-se o aumento excessivo da recirculação pelo fechamento do rotor impulsor com a cinta metálica.

A vazão da recirculação é diretamente proporcional à altura da abertura do rotor impulsor, e é também diretamente proporcional à velocidade de rotação.

Portanto pode-se manter uma determinada vazão de recirculação, pela variação inversa dos dois fatores rotação e altura da abertura do rotor.

- 3 — Concentração de sólidos na corrente circulatória de lama.

A concentração de sólidos na corrente circulatória de lama deve ser mantida sempre a mais alta possível, e constante.

Periódicamente o operador deverá medir esta concentração em volume. No caso em que a concentração da lama circulante venha a crescer, o operador deverá regular o relógio elétrico controlador da descarga dos concentradores, para uma abertura mais frequente, ou menos frequente, no caso contrário, isto é, quando a concentração da lama diminua.

8.4 — *Manutenção*

A *manutenção do Accelerator*, resume-se em:

- lubrificação do variador redutor de velocidade (de acôrdo com recomendações do fabricante);
- lubrificação dos mancais do motor elétrico (de acôrdo com recomendações do fabricante);
- pintura periódica (anual) do rotor impulsor;
- descarga geral do fundo do tanque (diária);
- inspeção periódica do sistema de descarga automática de lodo (semanal);



Fotografia tomada durante a construção da Estação de Tratamento de Águas de Djakarta — Java

9. APLICAÇÕES DIVERSAS

O Acclator é empregado com sucesso na clarificação de águas turvas e coloridas, de rios, lagos, lençóis subterrâneos, etc.

A turbidez da água tratada é em geral de 2 a 5 ppm, e garante-se que não excederá a 10 ppm.

Podemos citar entre os diversos emprêgos do Acclator:

Estações de Tratamento para abastecimento para abastecimento público.

Instalações de tratamento para água industrial como:

- Indústria Siderúrgica e Metalúrgica - água para limpeza de peças submetidas a banhos de decapagem ou banhos de galvanoplastia.
- Indústria Textil - água para os processos de alvejamento e tinturaria.
- Indústria de Papel - tratamento de água para o processo da polpa com remoção de ferro, manganês e cor.
- Indústria petrolífera - o Acclator tem sido empregado no tratamento de água para bombeamento em processos de recuperação do óleo de formações subterrâneas.
- Indústria química - há um número muito grande de aplicações específicas do Acclator. Particularmente na indústria de álcalis e de cloro, tem grande utilidade no abrandamento das salmouras e soluções das células eletrolíticas, e na indústria da borracha sintética onde as salmouras usadas para coagulação precisam ter dureza próxima de zero.
- Tratamento de resíduos industriais - O Acclator pode ser empregado no tratamento pela coagulação química e também no tratamento biológico pela ativação de lodos (aéreo-Acclator).
- Tratamento de águas para caldeiras e para sistema de refrigeração - O Acclator é muito empregado para estas duas finalidades como clarificador e como abrandador da água bruta.
- Indústria de bebidas, refrigerantes e produtos alimentícios. A água utilizada no preparo de alimentos e bebidas deve obedecer a padrões rigorosos. Existem cerca de 900 Acclators somente em instalações de engarrafamento de refrigerantes.
- Últimamente a Infilco desenvolveu um processo de troca de ions em contra corrente, utilizando baterias de Acclators.

* * *

Acreditamos que a experiência acumulada por fabricantes, engenheiros consultores, municipais e industriais, nos 20 anos passados, já é mais que suficiente para deslocar de maneira definitiva os processos (*high rate*) de alto rendimento, do plano das polêmicas e discussões para o âmbito das soluções práticas e objetivas dos problemas de clarificação de águas.

* * *



BIBLIOGRAFIA

1. Mc Bride G. A. — Progress in Lime-Soda Water Softening AWWA Journal — Vol. 31 — N.º 3 — March 1939.
2. Behrman A. S. e Green W. H. — Accelerated Lime-Soda Water Softening Ind. and Engineering Chemistry — Vol. 31 — February 1939.
3. Kahn J. M. — Color Removal with the Accelerator AWWA Journal — Vol. 35 — N.º5 May 1943.
4. Embshoff A. C. — Paper Mill Operating Experiences with Accelerator Softeners and Clarifiers. Reprint from Paper Trade Journal.
5. Kalinske A. A. — Settling Characteristics of Suspensions in Water Treatment Process. AWWA Journal — Vol. 40 — N.º 2 — February 1948.
6. Mallmann W. L. and Kahler D. — Bacterial Removal by Lime — Alum and Allum-Clay Floccs. AWWA Journal — June 1948.
7. Committee Report — Capacity and Loadings of Suspended — solids Contact Units. AWWA Journal — Vol. 43 — pag. 263 (April — 1951).
8. AWWA — Committee — E5.B2 — Revision, Chapter ou Mixing, Flocculation, Settling, Water quality and Treatment. AWWA Journal — Vol. 47 — N.º 7 — September 1955.
9. Oldshue — J. Y. — Aeration with Mixing Impellers Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes — Vol. 1 — Reinhold Publ. Corp. pag. 233.
10. Fair — G. M. e Geyer J. C. — Water Suply and Waste-Water disposal John Wiley & Sons. 1954 — pag. 590.
11. Camp T. R. e Stein P. C. — Velocity Gradients and Internal Work in fluid Motion-Journal, Borton Soc. of Civ. Engrs. October 1943.
12. Capem, C. H. Jr. — Sludy of Sewage Settling Tanks design Eng. News Record (1927).
13. Camp T. R. — Sedimentation and desi of Settling tanks — Proceedings ASCE — April 1945 — Vol. 71 — N.º 4 — pag. 481.
14. Work, L. T. & Kohler A. S. — Sedimentation of Suspensions Ind. Eng. Chem. 32 — 1392 (1940).
15. House H. — Suspension of Sediment in Upward Flow. University of Iowa Studies in Engineering. — Bul. 26, p. 14 (1941).
16. Kalinske A. A. — Settling rate of suspensions in sólids contact units — Proceedings ASCE — April 1953.