

Projéto para Construção de uma Fabrica de Sulfato de Alumínio para a R. A. E. (*)

Cassio Pereira Barreto

eng. ajudante da 1.^a S. T.

Snr. Diretor

Apresentamo-vos as conclusões do estudo realizado para a instalação no Ypiranga, de uma fabrica de sulfato de alumínio, juntando orçamentos e desenhos.

Antes, porém de descrevermos o projéto, esclarecendo-vos sobre a sua organização e fins, cumpre-nos informar-vos relativamente aos processos conhecidos de fabricação do sulfato de alumínio.

Podemos classificar-os em duas categorias, de acordo com o gráo de pureza do produto conseguido.

Obtem-se o sulfato de alumínio puro, tratando-se o hidrato de alumina pelo acido sulfurico. Exige portanto esse processo a fabricação previa do referido hidrato, conseguida pela desagregação alcalina da bauxita. Realiza-se a mistura da bauxita com soda caustica em forno reverbéro ou em autoclave.

No primeiro caso, o método denomina-se pirogenico e no segundo caso de via-humida ou de Bayer.

O segundo metodo de desagregação da bauxita para a fabricação do hidrato de alumina, em autoclave, tem sido o mais usado e por elle alcança-se o aproveitamento até de 95% da alumina existente na bauxita.

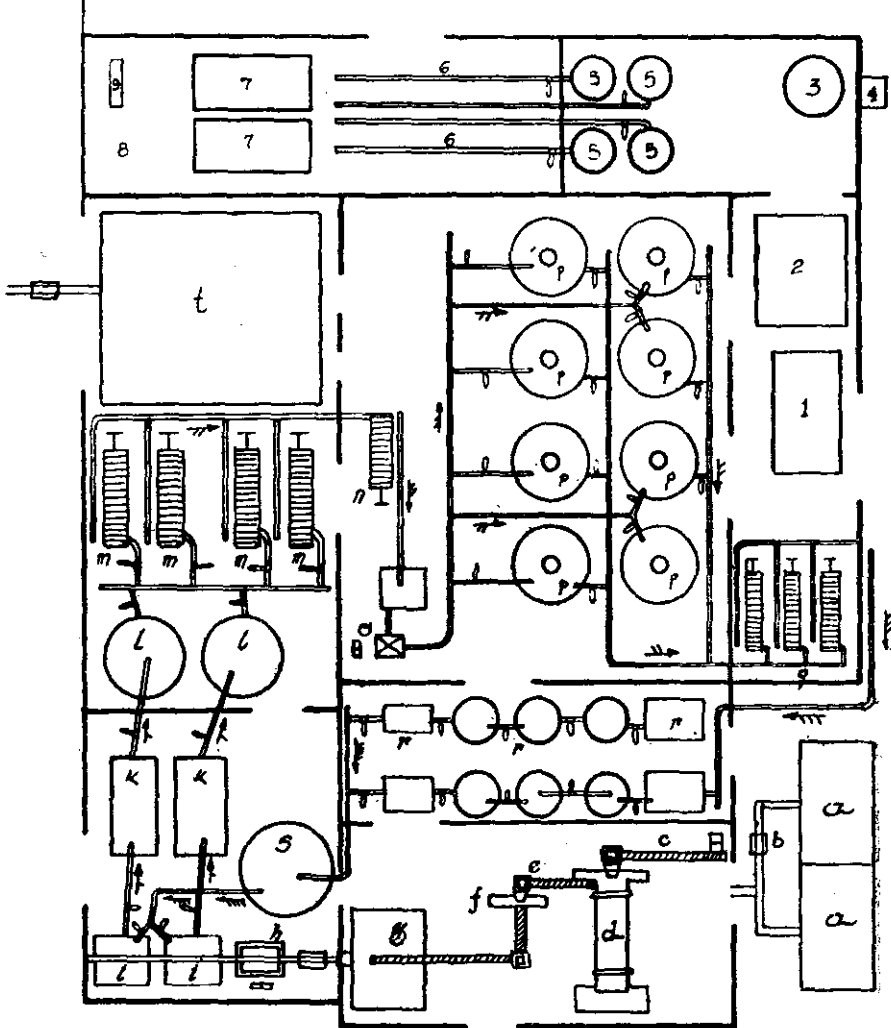
A marcha das operações para a fabricação do hidrato de alumina e em seguida do sulfato de alumínio, segundo o esquema junto de uma instalação realizada pelo Dr. Fritz Bayer é a seguinte:

- a) preparo da bauxita (trituração, calcinação e moagem).
- b) mistura da bauxita com lixivia de soda no autoclave.
- c) reação e formação do aluminato de sodio, enquanto que o oxydo de ferro da mesma bauxita conserva-se insolúvel.
- d) filtração do residuo insolúvel, denominado lodo vermelho, contendo a totalidade de oxydo de ferro da bauxita.

(*) O presente trabalho foi apresentado em forma de relatorio ao Snr. Dr. Diretor de R. A. E.

Esquema de instalação de uma fabrica de sulfato de aluminio.

(sendo-se da alumina obtida pelo processo alcalino de Bayer)



a- Cobertura para Bauxita; b- vagoneta; c- parafuso sem fim; d- tambor rotativo;
 e- elevador; f- moinho de bolas; g- deposito de Bauxita calcinada; h- vagoneta;
 i- recipiente de mistura; k- autoclaves; l- recipientes para deluição em agua;
 m- filtros prensos I; n- filtros prensos II; o- bomba; p- cilindros de decomposição;
 q- filtros prensos III; r- instalação de evaporação; s- recipiente para a lixivia
 sódica; t- deposito para todo oxido de ferro; - i- instalação de dessecção;
 2- deposito de alumina; 3- recipiente de acido; 4- elevador para as bombas de
 acido; 5- recipiente de dissolução; 6- local de derrame; 7- deposito para o sulfato
 de aluminio; 8- local de derrame; 9- desintegrador; → lixivia bruta de Bauxita,
 → lixivia de alumina; → lixivia sódica deluída; → lixivia sódica concentrada.

des. João Maracocini

- e) combinação da alumina pura, assim obtida, com acido sulfurico e conseqüente formação do sulfato de aluminio puro.

O sulfato de aluminio impuro, isto é, com ferro e silica é obtido diretamente do ataque da bauxita pelo acido-sulfurico.

Este ataque pôde ser *a quente* ou *a frio*, isto é, com ou sem aquecimento.

Prêliminarmente, mistura-se a bauxita, em pó muito fino, com o acido sulfurico em cuba de madeira ou metalica, forrada internamente com chumbo em lençol.

Consideramos o ataque *a quente* quando a mistura é aquecida por vapor circulando em serpentina. Não havendo o mesmo aquecimento, o ataque será *a frio*, e a reação é provocada pelo proprio calor despreendido por um acido sulfurico concentrado.

A reação depende, alem do calor, da agitação da mistura. O rendimento da alumina combinada com o acido sulfurico cresce com a duração e a intensidade da agitação. Terminada a reação, a massa constituida de sulfato de aluminio, residuos de ferro e silica, passa da cuba ás formas onde resfria-se e endurece.

Na desagregação da bauxita pelo acido sulfurico, o sulfato produzido pôde ser separado do residuo indecomposto, isto é, da silica, pela dissolução em agua da massa, e filtração do mesmo sulfato de aluminio.

A dissolução assim separada contem muito acido sulfurico e pôde ser neutralizada com hidrato de alumina. Depois procede-se á evaporação da dissolução para a cristalisação do sulfato de aluminio, isento de silica.

Comparando, verificamos que a vantagem existente na possibilidade da separação da silica, do sulfato de aluminio, não compensa as seguintes caracteristicas do processo de fabricação deste sulfato com insolúveis :

- 1.^a) Instalação menor e menos dispendiosa.
- 2.^a) Maior rapidez de fabricação.
- 3.^a) Produção mais economica.

A separação da silica, elemento insolúvel, não é indispensavel. A silica não constitue uma impureza e não prejudica a aplicação do sulfato de aluminio no tratamento de aguas. A presença da silica no sulfato de aluminio apenas encarece inutilmente o custo do transporte desse produto. A despeza, porem, com a sua eliminação não pôde ser compensadora devido ao encarecimento do sulfato em conseqüencia do maior tempo empregado na fabricação e do grande consumo de combustivel para a sua cristalisação.

Quanto ao ferro, considerado como elemento prejudicial no sulfato de aluminio destinado a outras aplicações, não constitue tambem um problema no nosso caso, isto é, no sulfato de aluminio fabricado para o tratamento de aguas.

Mais complicada e dispendiosa do que a eliminação da silica é a do ferro de um sulfato de aluminio obtido pelo processo de ataque diréto da bauxita pelo acido sulfurico. Com este fim têm sido empregados preferentemente os tres metodos seguintes:

- a) tratamento do sulfato de aluminio pelo cloreto de calcio.
- b) tratamento previo da bauxita pela mistura de acido cloridico e acido oxalico.
- c) tratamento do sulfato de aluminio pelo sulfureto de calcio.

Estes e outros metodos de desferruginisação do sulfato de aluminio impuro praticam-se e justificam-se para a sua applicação nas industrias do papel, tinturaria, cortume e saes de aluminio.

Na industria do papel, por exemplo, tolera-se o maximo de 0,02% de ferro emquanto que na tinturaria apenas 0,01%.

Para a applicação no tratamento de aguas, a tolerancia tem sido maior.

Considerando 6% como teor medio de oxido de ferro contido nas bauxitas utilizadas na R. A. E. concluiremos que em 1000 kilos de sulfato de aluminio são introduzidos aproximadamente 24 kilos de oxido de ferro nas aguas em tratamento de S. Paulo, sejam 2,4%.

O ar comprimido poderá, em lugar das reações quimicas mencionadas, eliminar o ferro do sulfato de aluminio destinado ao tratamento de aguas, oxidando-o na propria agua tratada, e transformando-o em oxido ferrico, precipitavel e filtravel.

Cada grama de oxidulo de ferro consome para finalizar sua oxidação 0,11 gr. ou seja 0,076 litros de oxigenio. Para 2,4 kilos de ferro contidos em 100 kilos de sulfato de aluminio diluidos nas aguas em tratamento serão necessarios 282,4 litros de oxigenio ou sejam 1,355 m.c. de ar.

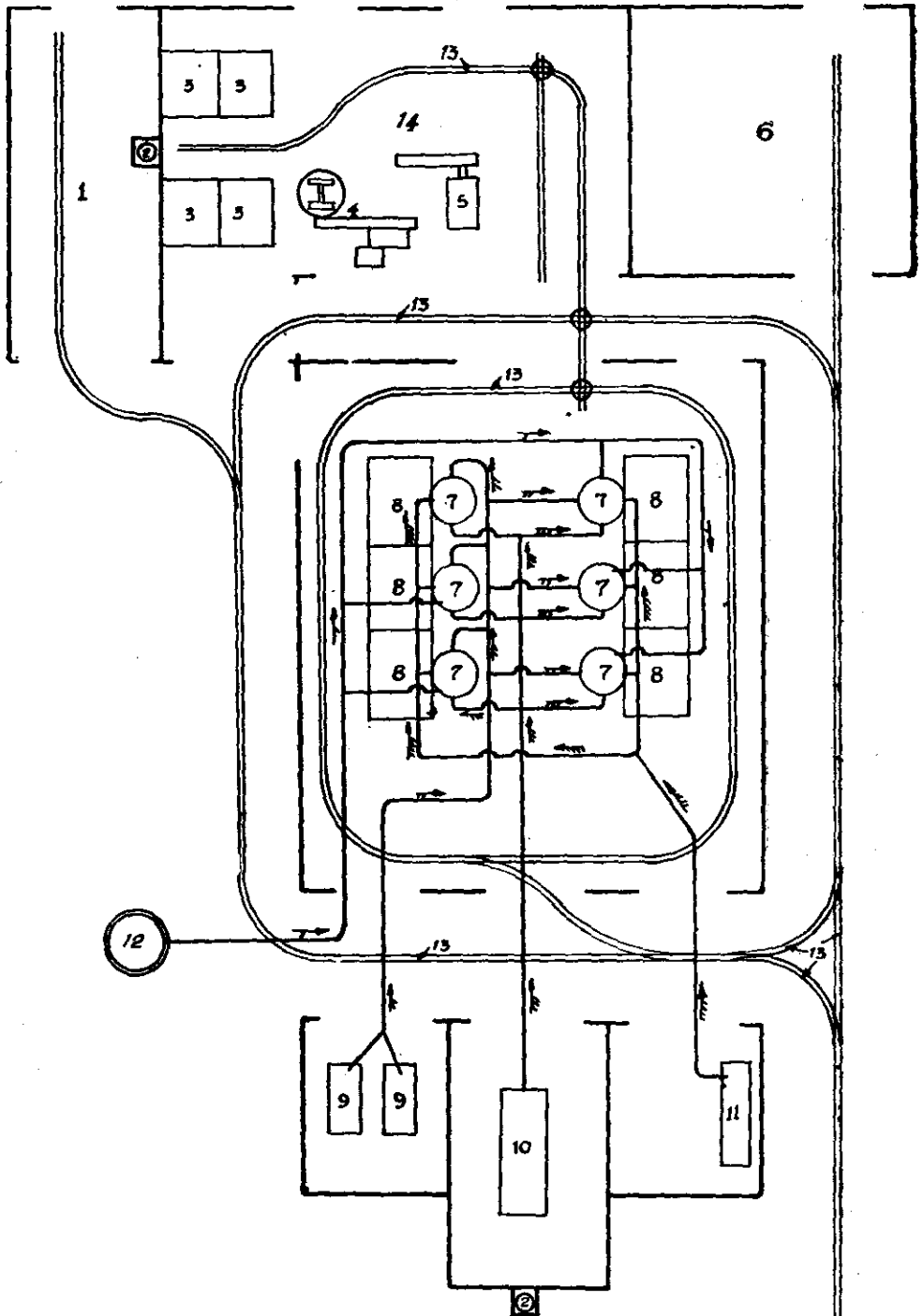
Projéto Organizado

Ao lado do esquema de uma installação para fabricaçaõ do hidrato de aluminio e do sulfato de aluminio puro, idealizada e realizada pelo Dr. Bayer, juntamos o esquema da installação por nós projetada, para a fabricaçaõ de um sulfato de aluminio com impurezas e insolueis, exclusivamente destinado ao tratamento das aguas de S. Paulo.

A installação de uma fabrica pelo citado esquema do Dr. Bayer, publicado pela Enciclopedia de Quimica Industrial do Dr. Uhlmann, deverá logicamente ficar muito mais dispendiosa do que a por nós projetada. Requererá a mesma installação maior espaço e aparelhamento mais custoso, como filtros-prensas e autoclaves.

Tambem o produto obtido pelo systema do Dr. Bayer ficará de 15 a 20 vezes mais caro do que o sulfato de aluminio fabricado com impurezas e insolueis. A soda caustica, materia prima indispensavel no processo mencionado, custará aproximadamente 3\$000 por kilo, ou sejam, 10 vezes mais do que o referido sulfato de aluminio produzido.

*Esquema de instalação de uma fabrica de sulfato de aluminio
(partindo-se diretamente da bauxita, segundo projeto do eng.º C.P.Barretto)*



1-deposito de combustivel, 2-chaminé, 3-fornos; 4-triturador;
5-moinho; 6-dep. de sulfato de aluminio; 7-cubas de reacção;
8-resfriadores (fôrmas); 9-ar comprimido, 10-caldeira à vapor;
11-dep. acido sulfurico, 12-dep. de agua, 13-linha decaville;
14-dep. da bauxita.

des. João Maria Cinti.

Tambem demos preferencia no nosso projeto ao processo *a quente* isto é, do ataque da bauxita pelo acido sulfurico com aquecimento e agitação da mistura, afim de completarmos o aparelhamento da fabrica com a indispensavel instalação de calor.

Actualmente está sendo empregado na fabricação do sulfato de aluminio, na Repartição de Aguas e Esgotos de São Paulo, o acido sulfurico concentrado a 66° Baumé, que desprende, dissolvendo-se na agua, o calor necessario á desagregação da bauxita e dispensa por esta razão o aquecimento da mistura. Tambem está sendo adquirida a bauxita já calcinada.

Entretanto, tendo em vista a quantidade e o valor do sulfato de aluminio (10 toneladas diarias) a fabricar não podiamos deixar de aparelhar a instalação projetada dos recursos necessarios ao emprego de qualquer acido sulfurico e de qualquer bauxita afim de evitar em qualquer época possiveis dependencias para a R. A. E.

Adotámos, por isso, como já nos referimos, o processo de fabricação *a quente* e incluimos no projeto a caldeira destinada á produção do vapor necessario ao aquecimento da mistura acido sulfurico-bauxita. Tambem incluimos fornos que servirão para a calcinação da bauxita.

As cubas de reação da mistura foram previstas de chapa de ferro de 3/8", de forma cilindrica, diametro 1,50 ms. com revestimento interno de chumbo metalizado. São 6 cubas, podendo todavia funcionar somente 4, para a produção exigida de 10 toneladas de sulfato de aluminio.

Alem disso foi previsto no projeto o espaço para a instalação futura de mais duas cubas. Ellas estão orçadas em 18 contos de reis cada uma, mas, considerando que a metalisação ainda é pouco praticada entre nós, conviria talvez utilizarmo-nos prudentemente de cubas de madeira forradas com chumbo em lençol para mais tarde, depois de mais longa experiencia das nossas oficinas, adotarmos as cubas metalicas do projeto. Esta providencia traria consideravel economia na instalação.

Levamos em consideração o valor de uma boa agitação da mistura e introduzimos no projeto a instalação de ar comprimido para substituir os agitadores manuais e mecanicos, muito improprios no caso presente. O ar comprimido será distribuido na cuba em serpentina de aço metalizada externamente com chumbo e munida de 30 furos.

Como medida de higiene providenciamos no projeto a instalação de exaustores que se comunicarão com as cubas por meio de condutores de chapa de ferro e por onde serão aspirados os vapores de acido sulfurico nocivos á saude do operario.

A lage de concreto armado á ser construida na altura de 3,00 mts. do piso destina-se á distribuição facil, rapida e quasi mecanica das materias primas nas cubas de reação.

Sobre esta lage ficarão pequenos depositos metalicos para o acido sulfurico e a agua, assim como a balança e a linha Decauville para o transporte da bauxita. Os referidos depositos serão da 1000 litros.

A agua e o acido sulfurico serão nelles medidos por intermedio de tubos de vidro graduados colocados externamente, em comunicação com os mesmos depositos.

A lage termina em plano inclinado no deposito da bauxita para facilitar o transporte manual dessa materia prima, quando por qualquer motivo não puder funcionar o funicular projetado.

Sob a lage serão adaptados os condutores dos exaustores e o encanamento do vapor.

Para o acido sulfurico deverá ser construido um reservatorio terreo com capacidade para 8 m. c. e um deposito menor com capacidade para 3,5 m. c. cilindrico, de chapa de ferro de 3/8", metalizado internamente com chumbo e colocado a 3,5 mts. de altura do piso.

O acido sulfurico armazenado no reservatorio terreo será recalcado por uma pequena bomba centrifuga ao deposito superior, de onde se escoará por gravidade para o terceiro deposito (de 1000 litros) colocado na fabrica sobre a lage. Desse terceiro deposito o acido sulfurico passará medido para as cubas.

A agua tambem recebida em um deposito igual de 1000 litros, sobre a lage, passará do mesmo modo medida para as cubas.

A bauxita, conduzida no carrinho, depois de pesada na balança embutida na lage sob os trilhos Decauville, será despejada em calhas de madeira para cair diretamente nas cubas.

O sulfato de aluminio fabricado, depois de seco nas formas, será transportado em Decauville para o armazem, cuja capacidade atinge a 300 toneladas.

Dada a propriedade higrofila do sulfato de aluminio, achamos preferivel entrega-lo ao consumo nas estações de tratamento de aguas, como o está sendo entregue presentemente, em blocos de 45 kilos. Em pó seria maior a superficie em contáto com o ar, e maior portanto a humidade absorvida. Sacos impermeaveis encareceriam, no nosso caso, inutilmente, o produto.

Do armazem poderá o sulfato de aluminio sair em trem pelo desvio da S. P. R. ou em auto caminhão pela Avenida n.º 2.

No armazem da bauxita ficarão tambem os fornos para a calcinação, o triturador e o moinho. Para facilitar a calcinação da bauxita julgamos preferivel a um unico forno, quatro fornos pequenos com capacidade para 6 toneladas diarias.

Ao lado desse armazem localizamos o deposito de combustivel, com entrada pelo desvio da S. P. R. e pela Avenida n.º 2.

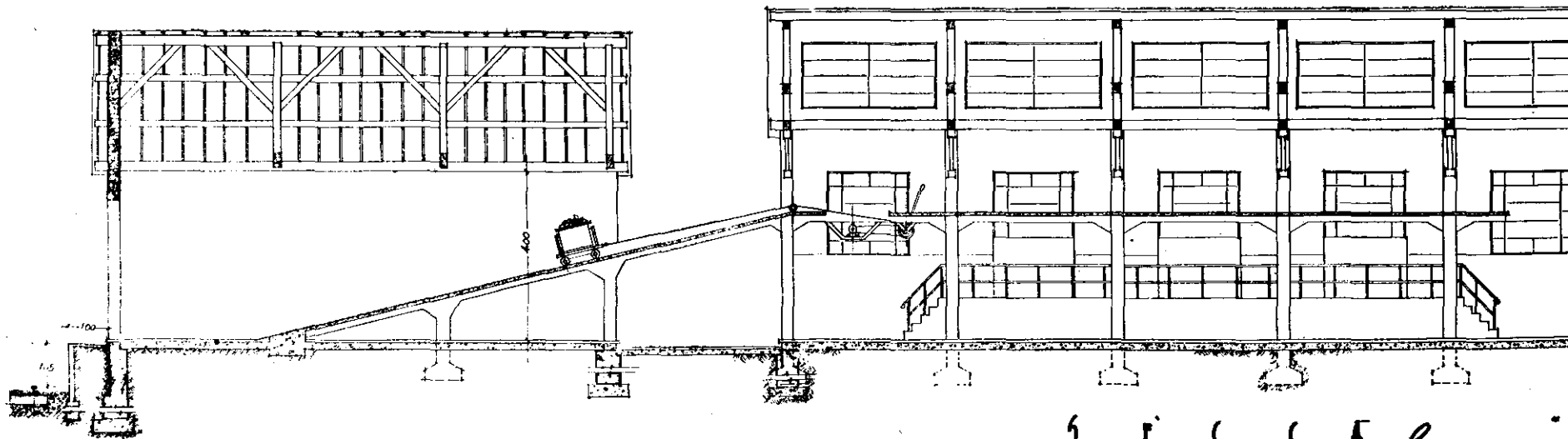
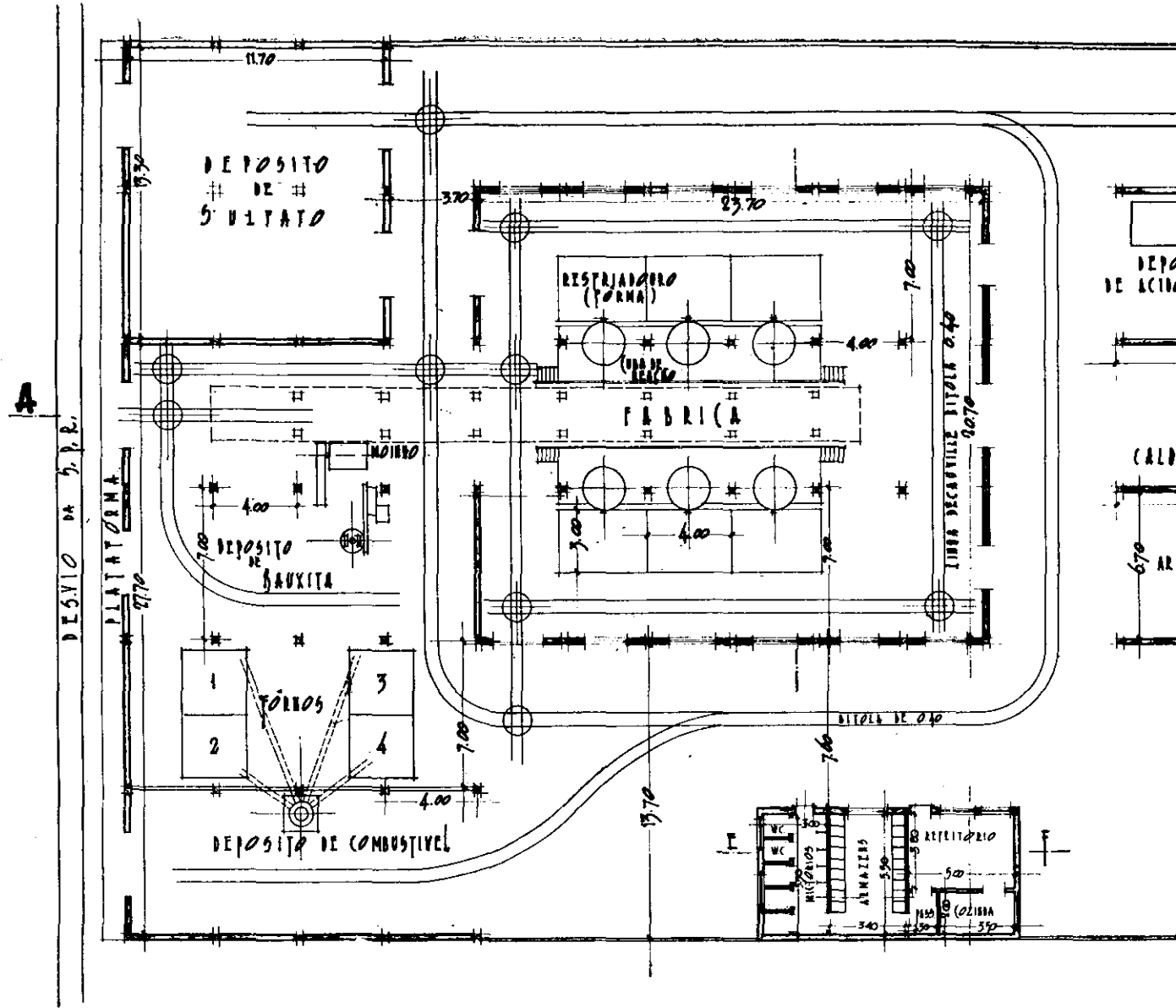
Apenas o armazem para o sulfato de aluminio será fechado por paredes de tijolos. Os outros depositos serão abertos para o interior da fabrica.

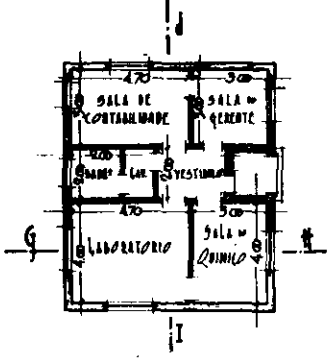
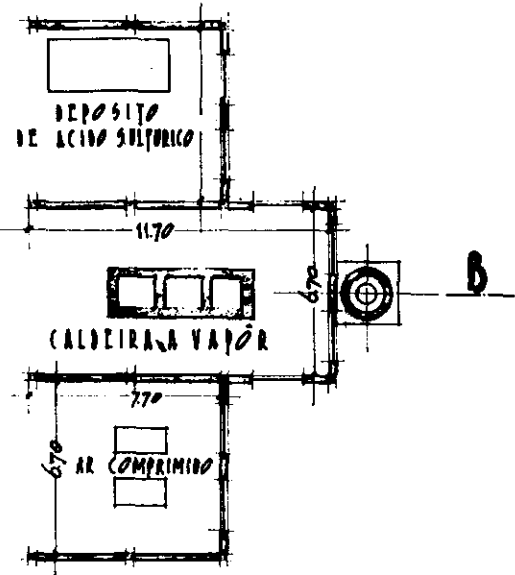
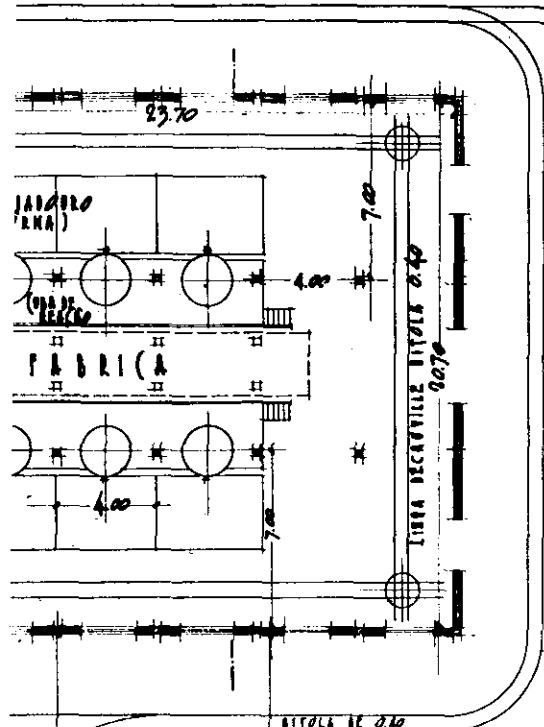
Tendo em vista atender a boa iluminação do recinto da fabricação do sulfato adotamos para a cobertura do predio tesouras do tipo Sheed. Aliás indicamos no desenho as dimensões dos elementos das asnas, de acordo com os nossos calculos.

Dentro da faixa do terreno, com 43,00 mts. de frente por 80,00 mts. de fundo, projetamos mais dois pequenos predios, um para administração e outro para serventia dos operarios.

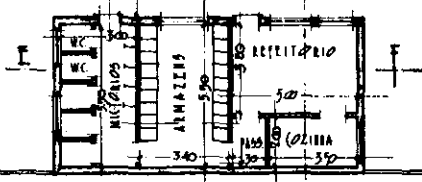
R. A. E.
REPARTIÇÃO DE ÁGUAS E ESGOTOS

PROJETO PARA UMA
FABRICA DE
SULFATO DE ALUMINIO

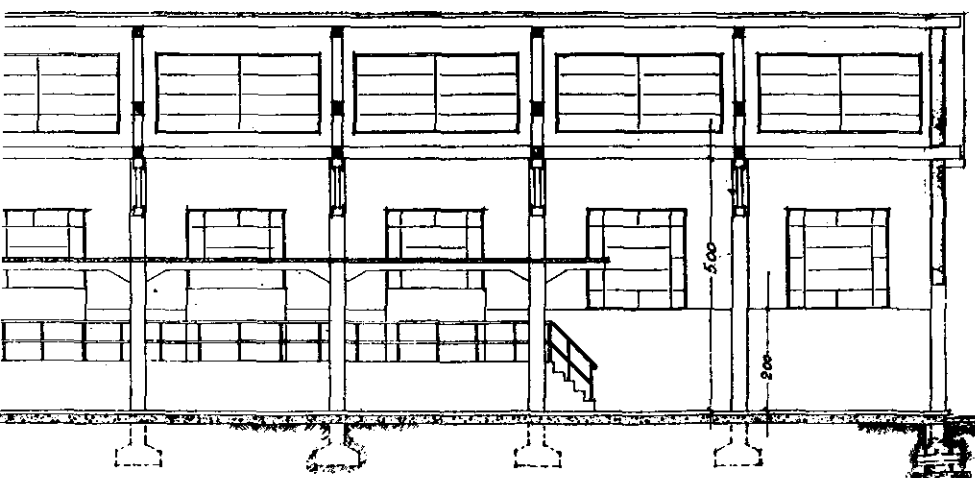




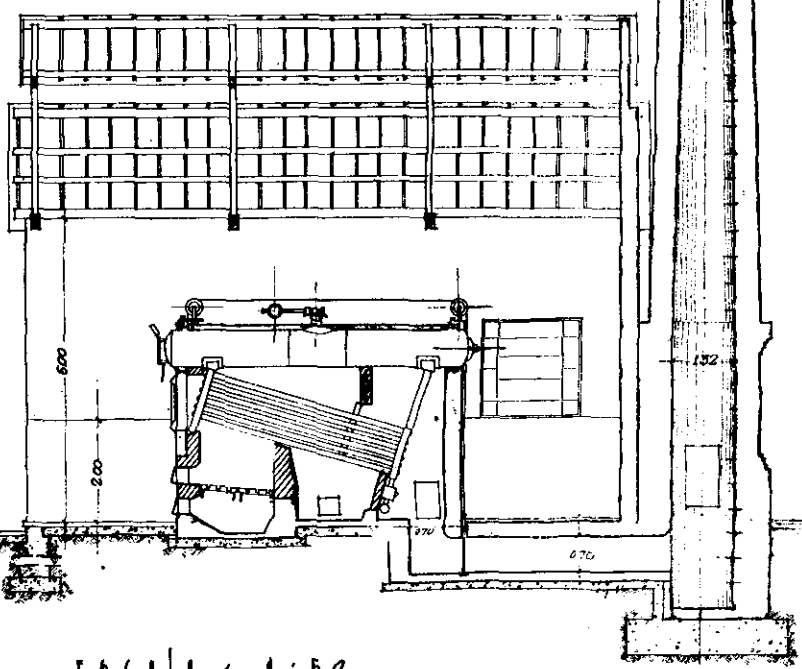
PLANTA
ESCALA = 1:100



AVENIDA N° 2



SECCION "A-B"



ESCALA = 1:50

No predio para a administração alem da sala para a gerencia e da sala para a contabilidade, ficará instalado o laboratorio de análises e pesquisas da fabrica, com dependencias privativas para o respetivo quimico.

No predio destinado á serventia dos operarios, alem da instalação sanitaria, foram previstos chuveiros, armarios, cozinha e refeitorio. Os armarios serão geminados, de madeira. Na cosinha haverá a pia e o fogão a carvão para o aquecimento das refeições dos operarios. No refeitorio serão colocados bancos rusticos de madeira, uma meza tambem de madeira, coberta com folha de ferro, e um lavatorio. Este edificio será todo ladrilhado.

O orçamento ficou assim organizado:

a) Construção dos predios para fabrica e armazens	218:458\$000
b) Construção da casa da administração.....	19:281\$000
c) Construção da casa para serventia dos operarios	15:137\$000
d) Instalação do laboratorio.....	2:903\$000
e) Aparelhamento	297:233\$000
	Soma <u>553:012\$500</u>
	Administração 10%
	Imprevistos 5%.....
	55:301\$200
	27:650\$600
	TOTAL <u>635:964\$300</u>

Amortização do capital a empregar

A tonelada do sulfato de aluminio sahiu em 1939 para a R. A. E. á razão de 280\$000, em media. Dadas as condições muito economicas de produção da R. A. E. poderemos admitir que o industrial particular possa no maximo produzir pelo mesmo custo e tenha no comercio apenas o lucro de 20%.

Consideremos portanto esses 20% como o lucro da R. A. E. destinado a amortizar as despezas com as novas instalações de uma fabrica de sulfato de aluminio.

Sendo a produção mensal de 260 toneladas e o lucro por tonelada de 70\$000, o lucro da produção mensal será de 18:200\$000, o anual de 218:400\$000 e em 4 anos de 873:600\$000.

Ora, 635:964\$300, importancia a dispender, somada aos juros de 8% ao ano, ou sejam 50:861\$000, darão um total de 839:408\$000 em 4 anos.

Em menos de 4 anos ficarão portanto essas despezas integralmente amortizadas.

Como se verifica, partimos de uma condição muito modesta, tal a taxa de 20% para o lucro de um industrial particular, afim de nos precavermos dos imprevistos e assegurarmos a amortização no prazo calculado.

Transcrevemos os nossos calculos relativos á installação do calor com o fim de facilitar nesta parte a interpretação do projéto.

O problema a solucionar era o do aquecimento do acido sulfurico a 50° Baumé, da temperatura ambiente, que tomamos como de 15°, á temperatura de 100° C.

As calorias exigidas para este aquecimento, foram determinadas pela formula

$$M = pc (t - t') \quad (1)$$

onde

p = peso total do acido sulfurico nas 4 cubas = 6 toneladas.

c = calor especifico do acido sulfurico a 50° Baumé = 0,49

t = 100° C.

t' = 15° C.

portanto

$$M = 6000 \times 0,49 \times 85 = 249\ 900 \text{ calorias}$$

Estas calorias serão fornecidas por intermedio de serpentinas, pelo vapor a 180° C (10 atmosferas) produzido na caldeira instalada ao lado da fabrica.

Serpentina de tubo de aço metalizado com chumbo de 1 1/2''

Sendo 4 o numero de cubas, com diametro de 1,50 mts., e sendo 10 o numero de voltas da serpentina, o seu comprimento total será:

$$3,14 \times 1,50 \times 4 \times 10 = 188,4 \text{ mts.}$$

e a sua superficie externa :

$$3,14 \times 0,05 \times 188,4 = 29,57 \text{ sejam } 30 \text{ m}^2.$$

$$M = 2\pi RLQ (T - \theta) \quad (2)$$

$$\frac{1}{Q} = \left(\frac{1}{Kr} + \frac{1}{c} \log \frac{R}{r} + \frac{1}{K'R} \right) R \quad (3)$$

onde:

$S = 2\pi RL =$ superficie de transmissão de calor das serpentinas igual a 30 m².

$Q =$ coeficiente de transmissão do calor = 15.

$\theta =$ temperatura ambiente = 15° C.

$T =$ temperatura do vapor = 180° C.

$c =$ coeficiente de condutibilidade de calor do chumbo = 58,8.

Si chamarmos:

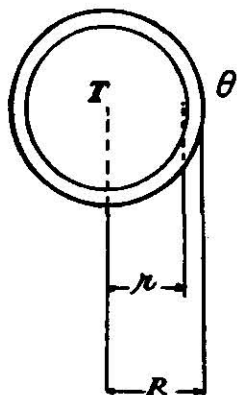
$u =$ coeficiente de radiação do calor = 3,36

$f =$ coeficiente de convecção = 4

$a = 1,0077$

$$m = a^\theta \cdot 124,72 \frac{a^{T-\theta} - 1}{T - \theta}$$

$$n = 0,552 (T - \theta)^{0,233}$$



poderemos escrever

$$K = mu + nf$$

no interior da serpentina $mu = 0$ e $K = nf$

A convecção pelo vapor produz de $nf = 10\ 000$ a $nf = 50.000$ calorias. Tomamos $K = nf = 30.000$ calorias.

$$m = 1,0077^{15} \times 124,72 \frac{1,0077^{165} - 1}{165} = 2,13$$

$$n = 0,552 \times 165^{0,233} = 1,80$$

$$K = mu + nf = 2,13 \times 3,36 + 1,80 \times 4 = 7,16 + 7,20 \cong 15$$

$$\frac{1}{Q} = \left(\frac{1}{30.000 \times 0,019} + \frac{1}{41,8} \times 0,11727 + \frac{1}{15 \times 0,025} \right) 0,025 =$$

$$= (0,002 + 0,003 + 2,814) 0,025 = 0,070$$

$$Q = \frac{1}{0,070} = 14,58 \text{ sejam } 15$$

$$M = 15 \times 165 = 2475 \text{ calorias por hora e por m}^2$$

$$M = 30 \times 15 \times 165 = 74.250 \text{ calorias por hora}$$

Tempo necessario ao aquecimento do acido sulfurico:

$$\frac{249.900}{74.250} = 3 \text{ horas e } 22 \text{ minutos}$$

Calor perdido no encanamento do vapor, entre a caldeira e a serpentina

Sejam 60 metros de tubos de aço de $1\frac{1}{2}$ " revestidos com materia isolante, lã cardada.

$$M = 2\pi R' L Q (T' - \theta) \quad (4)$$

$$\frac{1}{Q'} = \left(\frac{1}{K_r} + \frac{1}{c} \log \frac{R}{r} + \frac{1}{c'} \log \frac{R'}{R} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{K' R'} \right) R' \quad (5)$$

c = coeficiente de conductibilidade do ferro = 58,8

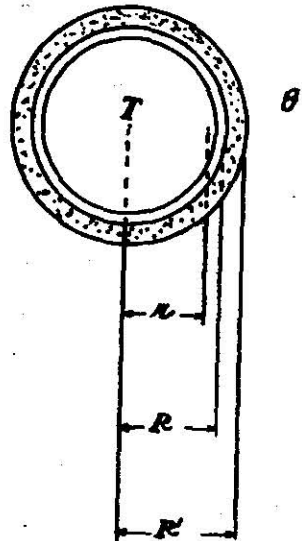
c' = coeficiente de conductibilidade da lã cardada = 0,04

R' = raio comprehendendo o isolante = $0,025 + 0,018 = 0,043$

$$\frac{1}{Q'} = \left(\frac{1}{30.000 \times 0,019} + \frac{1}{58,8} \times 11727 + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{0,04} \times 0,23553 \frac{1}{15 \times 0,043} \right) \times 0,043 = 0,320$$

$$Q' = 3$$



$$2\pi R'L = 2 \times 3,14 \times 0,043 \times 60 = 16,2 \text{ m}^2$$

$$M = 16 \times 3 \times 165 = 7920 \text{ calorías por hora}$$

Em 3 horas e 22 minutos teremos $7920 \times 3,37 = 26.600$ calorías.

Peso do vapor escoado em 1'':

$$P = 200 W n \sqrt{\frac{1}{1+R}} = 200 \times 0,0013 \times 10 \times \frac{1}{8,7} = 0,300$$

$$W = \text{secção do cano} = \pi r^2 = 3,14(0,019^2) = 0,0013$$

$$n = \text{numero de atmosferas} = 10$$

$$R = \text{coeficiente de resistencia (atrito) total} = 75$$

Peso do vapor escoado em uma hora = $0,300 \times 3600 = 1080$ quilos.

Calorias necessarias para aquecer e vaporizar 1 quilograma de agua a 180° (10 atmosferas) achando-se esta agua a 15° :

$$606,5 \times 0,305 \times 180 - 15 = 646$$

Quantidade de agua aquecida e vaporizada a 180° por um quilograma de carvão, cuja potencia calorifica é de 8000 calorías:

$$\frac{8000}{646} = 12 \text{ kgs.}$$

Carvão queimado na caldeira = $\frac{1080}{12} = 90$ kgs. em 1 hora.

Calculo da secção da saída e da altura da chaminé

Sejam :

pSg = peso de combustivel queimado por m^2 de grelha

500 = peso de hulha que póde ser queimado por m^2 de secção de saída da chaminé

W = secção de saída da chaminé

$$W = \frac{pSg}{500} = 0,20 \text{ m}^2; \quad \text{diametro} = D = 2 \times \sqrt{\frac{0,2}{3,14}} = 0,50$$

Superficie da grelha da caldeira, do projeto = $1,24 \text{ m}^2$

$$pSg = \frac{90}{1,24} = 72 \text{ kgs. de carvão por } m^2 \text{ de grelha}$$

Admitindo-se mais 40% para o consumo maximo tem-se:

$$pSg = 72 + 28 = 100; \text{ por hora e por metro quadrado de grelha.}$$

A resistencia póde ser considerada como a perda de carga do ar e dos gazes de combustão na tiragem da chaminé.

No presente caso a *resistencia total* R póde ser dividida em 4 partes:

1.º) G = resistencia produzida pela grelha e a camada do combustivel em ignição. Peclet, pelo calculo e experiencia achou para esta resistencia comum a todas as caldeiras o valor medio de $G = 9$.

2.^a) F = resistencias produzidas pelo atrito. A caldeira do projeto não tem canaletas e a formula $F = \frac{Kn Ln Xn}{Wn}$ foi aplicada para determinar a resistencia experimentada pelos gazes da combustão na passagem entre os tubos (24) de aquecimento e vaporização da agua.

K = coeficiente de atrito = 0,01

L = distancia comprehendida entre os primeiros e os ultimos tubos, igual a 0,90 mts.

X = perimetro medido entre duas feiras horizontais de tubos igual a 1,72 mts.

W = secção = 0,045

$$\frac{K L X}{W} = \frac{0,01 \times 0,09 \times 1,72}{0,045} = 0,344$$

São cinco espaços entre feiras de tubos e são tres as vezes que os gazes atravessam entre os tubos.

$$\frac{Kn Ln Xn}{Wn} = 0,34 \times 5 \times 3 = 5,10$$

Resistencia na chaminé: altura suposta = 25 mts.

secção média $3,14 \times 0,25 = 0,78$

perimetro médio $2 \times 3,14 \times 0,50 = 3,14$

$$\frac{Kn Ln Xn}{Wn} = \frac{0,01 \times 25 \times 3,14}{0,78} = 1$$

$$F = \sum \frac{Kn Ln Xn}{Wn} = 5,10 + 1 = 6,10$$

3.^a) D = resistencias produzidas pela mudança de direção dos gazes de combustão.

Para a mudança em angulo de $90^\circ = u = 1$

Temos seis mudanças, em $D = \sum u = 6$

4.^a) S = resistencias pelas variações de secções. É pouco importante e varia entre 1 e 2.

Tomaremos $S = 2$

R = resistencia total, registro aberto =

$$= G + F + D + S = 9 + 6,10 + 6 + 2 = 23,10$$

H = altura da chaminé = $1 + R = 24,10$

Encontramos pelo calculo o diametro na saída de 0,50 mts. e a altura da chaminé de 24,10 mts. No projéto, porém, admitimos o diametro de 0,70 mts e a altura de 25,00 mts, como tolerancia.

Finalizando este relatorio cumpre-nos consignar a colaboração valiosa da Secção de Tratamento fraqueando-nos a instalação da Ponte Pequena e fornecendo-nos todas as informações solicitadas. Tambem registramos a boa vontade e inteligencia do Snr. João Maracini na sua colaboração como desenhista no projéto que vos apresentamos.

S. Paulo, 12 de Fevereiro de 1940

a) *Cassio Pereira Barreto*
eng. Ajudante