

CAPÍTULO 1

CASA DE QUÍMICA

La casa de química o edificio de operaciones es el ambiente de la planta en el cual se concentran todas las instalaciones para el manejo de las sustancias químicas. Comprende básicamente las instalaciones de almacenamiento, dosificación y laboratorios de control de los procesos de la planta. Este capítulo trata sobre los criterios y procedimientos para el diseño de estas instalaciones.

1. ALMACENAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS

Las sustancias que se emplean en el tratamiento del agua pueden estar en polvo, trituradas o en solución. Al proyectar los almacenes, se debe tener en cuenta la forma en que se van a utilizar estas sustancias, de modo que las instalaciones ofrezcan todas las facilidades para la conservación y manejo del producto.

1.1 Productos secos

1.1.1 Criterios de diseño

Para determinar las dimensiones de estas instalaciones, será necesario tener en cuenta los siguientes criterios, relacionados con la capacidad, la ubicación y las características del almacén, que varían de acuerdo con las dimensiones de la planta de tratamiento.

a) Ubicación

- Ubicar el almacén lo más cerca posible de la sala de dosificación, para ahorrar tiempo y esfuerzo en el traslado de las sustancias químicas. Idealmente, los almacenes y la sala de dosificación deben ocupar un mismo ambiente, sobre todo en sistemas pequeños y medianos.
- En sistemas grandes, los almacenes siempre deberán ubicarse en el primer piso de la casa de química para no encarecer la estructura del edificio.

- La capacidad del almacén debe ser suficiente para abastecer la planta por lo menos durante un mes. En el caso de que los productos se expendan en la misma ciudad en la que se encuentra la planta, podrá considerarse una capacidad mínima para 15 días.



Figura. 1-1. Almacén de sustancias químicas (1)

b) Consideraciones para el dimensionamiento

- Cuando el producto es importado, al determinar el tiempo de almacenamiento, deberá tenerse en cuenta el tiempo total que toma el trámite de compra. En la mayoría de los casos, esto puede demandar varios meses.
- Cuando la empresa tiene un almacén central del cual se aprovisionará a la planta, el almacenamiento en planta podrá calcularse para 15 días.

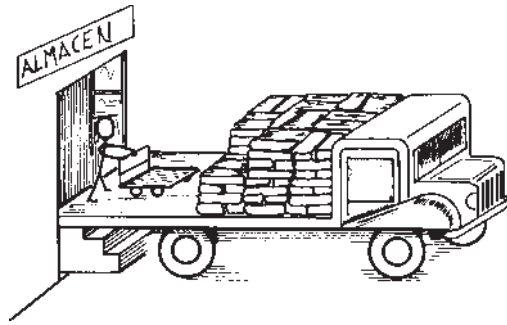


Figura 1-2. Entrada al almacén (2)

- Cuando se almacenan sustancias secas embolsadas —como es el caso del sulfato de aluminio y la cal—, deberá disponérselas apiladas en rumas y sobre tarimas de madera para aislarlas de la humedad del piso y de las paredes. Esta medida es especialmente importante para el sulfato de aluminio, que es higroscópico (es decir, que absorbe la humedad del aire).
- Cuando la transferencia del almacén a la sala de dosificación se realiza manualmente, la altura total de las rumas no deberá ser mayor de 2 metros, para que el operador pueda tener acceso a las bolsas del extremo superior. Cuando la transferencia se va a realizar en forma mecánica, el material

podrá apilarse con una altura de 3 metros.

- Adicionalmente al área necesaria para apilar el material, deberá tenerse en cuenta el espacio para los pasillos o corredores que hay que dejar entre las rumas. Si el material se dispone de esta manera, se podrá utilizar cronológicamente; esto es, por orden de llegada.
- El ancho de los corredores dependerá de la forma de transferencia del material a la sala de dosificación. Si el sistema es manual, se debe considerar un ancho suficiente como para que pueda pasar una carretilla o un equipo mecánico (figura 1-3).

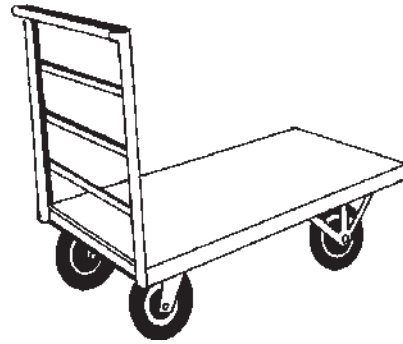


Figura 1-3. Carretilla (2)

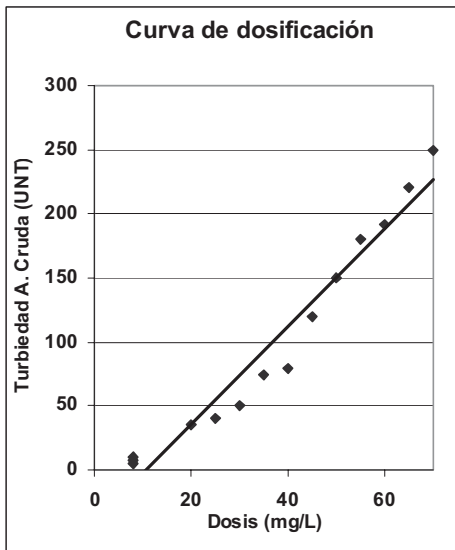


Figura 1-4. Curva de dosificación del coagulante

- En plantas de medianas a grandes sería recomendable que cada sustancia química tenga un almacén especial, sobre todo cuando se trata de sustancias que pueden reaccionar entre sí, como la cal viva y el sulfato de aluminio.
- El volumen de material por almacenar se calcula en función de la dosis óptima promedio (D , g/m^3), del caudal de la planta al final del periodo de diseño (Q , m^3/d), del tiempo de almacenamiento (T , días) y del peso específico de la sustancia respectiva (δ , g/m^3).

$$V (m^3) = D \times Q \times T / \delta \quad (1)$$

- Para determinar la dosis promedio (D), es necesario disponer de una curva de dosificación (dosis óptima de coagulante versus turbiedad de agua cruda, figura 1-4). Esta curva se obtiene de un estudio de laboratorio que abarque por lo menos un ciclo de seca y uno de creciente para determinar las dosis máximas y mínimas que se requerirán en el tratamiento del agua. La dosis promedio se calculará a partir de la dosis requerida cuando se produce la turbiedad máxima y la dosis necesaria en época de aguas claras.
- El área neta que ocupará el material se obtiene de la siguiente expresión:

$$A (m^2) = V (m^3) / H (m) \quad (2)$$

Donde la altura de almacenamiento (H) depende del sistema de transferencia seleccionado. El área de cada ruma se decidirá en función de las dimensiones de las bolsas del producto por almacenar y del número de bolsas por considerar a lo largo y a lo ancho. Dividiendo el área neta calculada en la ecuación (2) entre el área de una ruma, se definirá el número de rumas que se deberán considerar en el almacén.

- En las plantas grandes de varios metros cúbicos de capacidad de producción, el material se recibe en silos, que son abastecidos mediante camiones, vagones o carros cisterna, de acuerdo con la forma en que se solicite el producto: sólido o líquido.

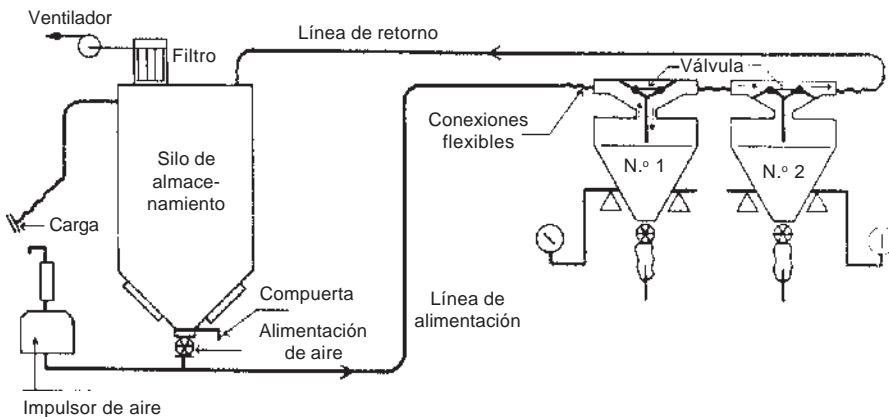


Figura 1-5. Sistema de llenado neumático (2)

- Los silos pueden ser metálicos, de hormigón o de poliéster reforzado con fibra de vidrio y de forma cilíndrico-cónica.
- Cuando el material se deposita en seco, el llenado se realiza mediante un sistema mecánico o —lo que es más frecuente— neumático, a partir del vehículo de abastecimiento, cuyo contenido se fluidifica y se somete a una presión de aire, de forma que fluya como un líquido hasta el silo. Véase la figura 1-5.

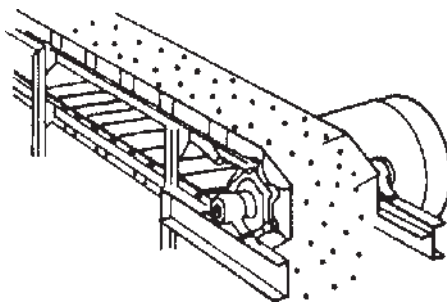


Figura 1-6. Sistema de llenado mediante fajas transportadoras (2)

Igualmente, pueden utilizarse dispositivos de llenado mecánico de los silos, como fajas transportadoras o sistemas de canjilones (figuras 1-6 y 1-7).

- Algunos reactivos en polvo tienden a aglomerarse, lo que dificulta su extracción. Para evitar este inconveniente, se pueden emplear dos procedimientos. El primero consiste en cubrir la superficie interior del silo con vejigas inflables, repartidas convenientemente. Estas vejigas, sometidas a presión en forma periódica, despegan el producto de las paredes y rompen los aglomerados que empiezan a formarse. El segundo procedimiento consiste en fluidificar el contenido del silo inyectando en la base aire comprimido. De esta manera, el producto fluye sin dificultad.

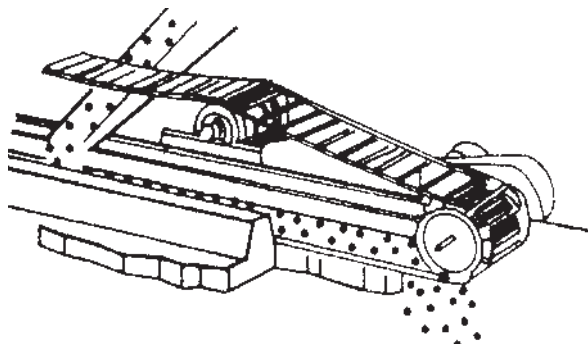


Figura 1-7. Sistema de llenado mediante canjilones (2)

- Cuando se trata de una pequeña tolva metálica, puede evitarse que el material se aglomere si se coloca en la parte exterior de la tolva un vibrador intermitente, cuya potencia debe adaptarse al volumen de esta.

- El aire que se emplea para el transporte neumático de sustancias químicas o para mantenerlas fluidas debe someterse a un tratamiento antes de que escape a la atmósfera. Para ello, se lo hace pasar a través de filtros de tela colocados en la parte superior de los silos, localizados en un compartimiento en el que se produce una depresión con un ventilador.
- El control del nivel del producto en los silos se puede efectuar de diversas formas. Se puede utilizar un motor flotante que acciona una paleta, la cual gira dentro del producto. La presencia de material en la tolva crea un par resistente que provoca una rotación en la carcasa del motor, detectada por contacto eléctrico. La ausencia de producto hace que la carcasa recobre su posición normal.
- También hay dispositivos que detectan cuándo el material está en su nivel mínimo, mediante sistemas capacitivos que determinan la diferencia de la permisividad de un dieléctrico, constituido por el producto o por el aire. Otra forma de detectar este nivel consiste en una membrana que se deforma bajo el peso del producto almacenado y actúa sobre un interruptor eléctrico.
- También se emplean sistemas más complejos, que indican de forma continua el nivel del producto dentro del silo, mediante medidores de fuerzas o fenómenos piezoeléctricos. Existen también otros sistemas ultrasónicos o de rayos gamma. El sistema más sencillo consiste en un tanque de plástico reforzado con fibra de vidrio, en el cual se transparenta el contenido.
- La extracción de los productos almacenados en los silos se efectúa mediante una válvula alveolar, tornillo sin fin, extractor de paletas o vibrante, aerocorredora o válvula automática. Cuando se trata de una tolva de almacenamien-



Figura 1-8. Tanque de almacenamiento de sulfato de aluminio líquido (1)

to de pequeña capacidad, la extracción puede hacerse manualmente, a través de un simple obturador de registro.

- El almacenamiento de productos secos también puede hacerse en recipientes estancos, que llena el proveedor del producto. Estos recipientes se construyen de acero o de goma sintética. Su empleo es especialmente indicado en instalaciones pequeñas y medianas.

1.2 Productos en solución



Figura 1-9. Tanques de plástico reforzados con fibra de vidrio (1)

En instalaciones pequeñas, los reactivos líquidos generalmente se adquieren y almacenan en cilindros, bidones o bombonas. En sistemas más importantes, el suministro se realiza en camiones o vagones-cisterna, de donde los reactivos son transferidos por gravedad, a presión de aire o bombeo, a las cubas o tanques de almacenamiento. Estos deben estar interiormente protegidos contra la acción corrosiva del reactivo.

- Los sistemas de dosificación en solución son económicamente ventajosos cuando el reactivo se produce localmente.
- En las instalaciones grandes, las cubas o tanques de almacenamiento de los reactivos se construyen según la naturaleza de los productos. Pueden ser de acero u hormigón con o sin revestimiento interno o de material plástico.
- Los tanques de almacenamiento van equipados con dispositivos de control de nivel más o menos perfeccionados, que pueden variar desde un sistema de flotador y vástago con índice que se desplaza sobre una regla graduada, hasta los dispositivos descritos en el acápite anterior, con los que puede efectuarse la medición a distancia de este nivel.

1.2.1 Proceso de cálculo

La información básica que se requiere para efectuar este cálculo es la siguiente:

- Caudal de diseño de la planta: Q en L/s o m³/d.
- Rango de dosificación ($D_m - D_M$, mg/L). En los histogramas de turbiedad elaborados durante el estudio de variaciones de la fuente, se obtiene la turbiedad máxima y mínima que se presenta durante el año. Con estos datos se obtienen, en la curva de dosificación, las dosis máxima y mínima.
- Periodo de almacenamiento: T (días o meses).
- Peso específico del material por dosificar (δ , kg/m³).
- Si el sulfato de aluminio empleado para las pruebas de laboratorio es de alta pureza, deberá introducirse en los cálculos un factor de corrección, pero si las pruebas se realizan con el mismo sulfato que se emplea en la planta, este factor no será necesario.

Ejemplo: Se desea calcular el área de almacenamiento para sulfato de aluminio que se requiere en una planta de $Q = 300$ L/s, para un periodo de 3 meses. La dosificación requerida es la siguiente:

- $D_m = 20$ mg/L
- $D_M = 80$ mg/L
- $\delta = 964$ kg/m³

El cuadro 1-1 presenta un resumen del cálculo efectuado.

Para determinar las dimensiones de las rumas de sulfato, hay que tener en cuenta que las bolsas de sulfato de aluminio tienen normalmente 50 kilogramos de peso y dimensiones aproximadas de 0,50 x 0,60 metros, de manera que las filas se pueden acomodar considerando tres bolsas a lo ancho con la dimensión de 0,60 metros, por lo que la ruma tendría 1,80 metros de ancho. Los pasillos o corredores pueden tener de 0,80 a un metro de ancho. En este caso, como se trata de una planta de 300 L/s, será necesario transportar las bolsas en una carretilla, por lo que se está dejando un metro de distancia entre las tarimas de 1,80 de ancho.

Cuadro 1-1. Cálculo del almacén de sulfato de aluminio (2)

Paso	Datos	Unidades	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidades
1	$D_m = 20$ $D_M = 80$	mg/L	$D = (D_m + D_M)/2$	$D = (20+80)/2$ $D = 50$	Dosis promedio	mg/L
2	$\delta = 964$ $T = 90$ $Q = 300$ $Q = 25.920$	kg/m ³ días L/s m ³ /d	$V = \frac{D \times Q \times T}{\delta \times 1.000}$	$\frac{50 \times 25.920 \times 90}{964 \times 1.000}$ $V = 121$	Volumen de almacenamiento requerido	m ³
3	$H = 1,8$	m	$A = V/H$	$A = 121/1,8$ $A = 67,2$	Área neta de almacenamiento	m ²
4	$N = 3$ $B = 1,80$	- m	$L = A/(N \times B)$	$L = 67,2/(1,8 \times 3)$ $L = 12$	Largo de la ruma o pila	m
5	$P = 1,0$	m	$Ancho = N \times B + 4$ P	$= 3 \times 1,80 + 4 \times 1$ $Ancho = 9,40$	Ancho total del almacén	m
			$Largo total = L + 2$ P	$= 12 + 2 \times 1,5$ $Largo = 14,0 m$	Largo del almacén	m

De acuerdo con el calculo efectuado, el almacén tendrá 9,40 metros de ancho por 14 metros de largo y se han considerado tres tarimas de 1,80 metros de ancho, 12 metros de largo, con rumas de bolsas apiladas de 1,80 metros de alto, dejando pasillos de un metro de ancho entre las rumas, así como entre estas y la pared.

2. DOSIFICACIÓN

La dosificación de las sustancias químicas debe efectuarse mediante equipos que aseguren la aplicación de una dosis exacta por unidad de tiempo. Estos equipos disponen de controles que permiten fijar la cantidad de producto por unidad de tiempo que debe liberarse, dentro de límites establecidos por su capacidad.

2.1 Tipos de dosificadores

En el cuadro 1-2 se presenta una clasificación de estos equipos de acuerdo con el estado en que se encuentra el producto.

Cuadro 1-2. Dosificadores de sustancias químicas (2)

Seco	Volumétricos	Plato, garganta, cilindro, tornillo, estrella, correa
	Gravimétricos	Correa transportadora y pérdida de peso
Solución	Gravedad	Orificio de carga constante, regulable o torre de saturación
	Bombeo	Desplazamiento rotatorio o positivo
	Boquillas	
Gas	Solución al vacío	
	Aplicación directa	

2.1.1 Equipos de dosificación en seco

Se emplean para la aplicación de sustancias químicas en polvo. Pueden ser de tipo volumétrico o gravimétrico. Para seleccionar el tipo de dosificador, se requiere tener en cuenta la precisión requerida, el tipo de producto que se va a dosificar y el rango de trabajo que debe tener el equipo, lo cual depende de las dosis máxima y mínima necesarias y de los caudales por tratar.

a) Volumétricos

La dosis se determina midiendo el volumen de material liberado por una superficie que se desplaza a velocidad constante (figuras 1-10 y 1-11). Los dosificadores de este tipo más comúnmente utilizados en la práctica son la válvula alveolar, el disco giratorio, el cilindro giratorio, el plato oscilante y el de tornillo.

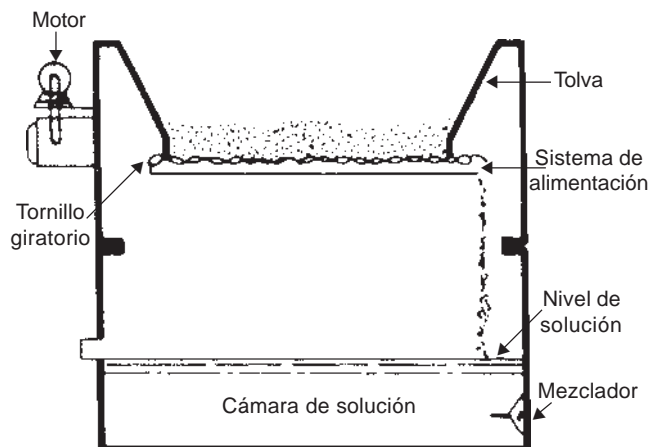


Figura 1-10. Dosificador volumétrico (2)

- La válvula alveolar es un dosificador de poca precisión que se emplea en un rango de caudales de 0,5 a 1,0 m³/h.
- El dosificador de disco giratorio está compuesto de una base que gira a velocidad constante sobre la cual una cuchilla de ángulo regulable separa una parte del producto.



Figura 1-11. Dosificador volumétrico (1)

Este se vierte a un depósito de preparación de la solución que debe estar equipado con un agitador. La precisión del equipo es buena. Se lo utiliza para dosificar sulfato de aluminio, cal, carbonato de sodio o de calcio. La dosis se modifica por un botón de regulación que varía el ángulo de la cuchilla. El motor puede ser de velocidad constante o variable.

- El dosificador de tornillo está constituido por una tolva de alimentación y un tornillo de dosificación provisto de un brazo rascador que arrastra el producto a través de un tubo calibrado. Previamente, se homogeneiza el producto por medio de un agitador de paletas de eje horizontal, destinado igualmente a evitar la formación de zonas muertas a la entrada del tornillo de dosificación (figura 1-12).

La variación de la graduación se consigue cambiando la velocidad de giro del tornillo.



Figura 1-12. Dosificador de tipo volumétrico (1)

La tolva de alimentación debe estar provista de un vibrador o de un sistema oscilante de frecuencia o amplitud regulables. El rango de trabajo de un dosificador de tornillo puede variar desde unos cuantos gramos hasta varios kilos por hora.

b) Gravimétricos

La cantidad de producto químico dosificado se mide pesando el material o sobre la base de una pérdida de peso constante del material depositado en la tolva. Los equipos más comunes son el dosificador de correa transportadora y el de pérdida de peso.



Figura 1-13. Dosificador de tipo gravimétrico (1)

- En el dosificador gravimétrico de pérdida de peso se mide la cantidad de material por dosificar mediante la diferencia de peso de un silo o tolva que contiene el material y que se apoya en una balanza equilibrada por un contrapeso móvil (figura 1-13). El contrapeso se desplaza en forma proporcional a la dosificación deseada.
- En el dosificador gravimétrico de correa transportadora, el material depositado en la tolva cae en una correa transportadora que se desplaza sobre la plataforma de una balanza. Esta se regula para recibir el peso que corresponde a la dosis deseada (figura 1-14).
- Cuando el peso sobre la correa no es igual al peso prefijado, una válvula situada en la salida de la tolva modifica su abertura para regular la dosis. El rango de dosificación también puede ser modificado si se altera la velocidad de la correa.

- Los tanques de solución que traen estos equipos, tanto los volumétricos como los gravimétricos, son pequeños, y la solución del coagulante resulta muy concentrada, especialmente en época de lluvias, cuando se utilizan dosis altas de coagulante. En estos casos, es necesario inyectar



Figura 1-14. Dosificador de correa transportadora (1)

a la solución concentrada que sale del tanque la cantidad de agua necesaria para bajar la concentración a 2%, o a la concentración óptima, obtenida en las pruebas de laboratorio. Ver el procedimiento en *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo II, capítulo 11.

2.1.2 Equipos de dosificación en solución

En este tipo de equipos la graduación de la cantidad por aplicar se efectúa con el coagulante en solución. Estos equipos pueden ser de dos tipos: por bombeo y por gravedad.

a) Sistemas de dosificación por bombeo

Los más usuales son las bombas de doble pistón y de diafragma.

La bomba dosificadora de pistón es muy precisa, pero debe emplearse con cuidado en el caso de productos abrasivos o muy corrosivos (silicato de sodio, cloruro férrico).

Según el tipo de bomba (diámetro del pistón, curva característica y cadencia de funcionamiento), el caudal de operación puede oscilar entre varias decenas de mililitros y algunos miles de litros por hora (figura 1-15).

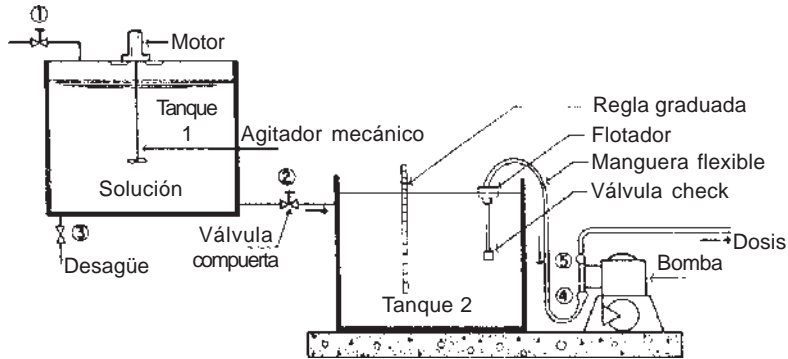


Figura 1-15. Sistema de dosificación por bombeo (1)

La bomba dosificadora de diafragma es de gran precisión —aunque es ligeramente menos precisa que la bomba de pistón— y se utiliza para líquidos corrosivos, tóxicos, abrasivos, cargados o viscosos. Puede estar provista de una membrana simple o doble.



Figura 1-16. Sistema de dosificación por bombeo (1)

El caudal de este tipo de bombas dosificadoras a fuertes presiones puede llegar hasta 2.500 litros por hora. La figura 1-16 muestra una instalación completa con bomba dosificadora, compuesta de un tanque de preparación de la solución, un tanque de dosificación y un sistema de dosificación propiamente dicho, al cual está integrada la bomba.

Las bombas dosificadoras pueden montarse sobre los depósitos de almacenamiento o de preparación de la solución, provistos eventualmente de mezcladores de hélice y de indicadores de nivel, de forma que se obtengan grupos compactos de dosificación que incluyan igualmente el armario eléctrico de accionamiento de los motores.

La figura 1-17 muestra una instalación de este tipo.

Las bombas centrífugas también se utilizan para dosificar con excelentes resultados. En la figura 1-17 se muestra una instalación compuesta de dos tanques de preparación de la solución de concreto, con agitador eléctrico. Las bombas están en la cámara seca ubicada debajo de las rejas del piso y la dosis se calibra mediante rotámetros. Sistemas de este tipo son ideales para localidades donde se pueda garantizar disponibilidad de energía eléctrica en forma continua.



Figura 1-17. Sistema de dosificación por bombeo (I)

b) Sistemas de dosificación por gravedad

Los sistemas de dosificación por gravedad se emplean especialmente en plantas medianas y pequeñas, en especial cuando el abastecimiento de energía eléctrica no es confiable. También se usan en plantas grandes cuando la calidad del agua es constante. Los más comunes son los de carga constante y carga regulable (figura 1-18).



Figura 1-18. Dosificador de orificio de carga constante (I)

El principio en el que se fundamenta es una carga de agua constante (h) sobre un orificio para asegurar un caudal constante. El caudal se calibra a la salida mediante una válvula.

Tanto los sistemas de dosificación por bombeo como los sistemas por gravedad incluyen un tanque de preparación de la solución similar al que se muestra en la figura 1-19. Estos tanques deben tener capacidad para un volumen de solución aplicable en 8 horas, de tal modo que en cada turno de operación se prepare un tanque. Siempre deben considerarse dos tanques para cada sustancia química que se va a aplicar. Si en la planta se van a aplicar sulfato de aluminio, cal, polímero y HTH, se deben considerar ocho tanques para preparar las sustancias respectivas. La concentración a la que se debe aplicar el sulfato de aluminio debe variar entre 1% y 2%.



Figura 1-19. Tanque de preparación de la solución (1)

Cuando se trata de una planta pequeña, se proyecta el tanque de preparación de la solución con la capacidad necesaria para lograr una concentración de 2%, pero cuando es una planta mediana o grande, la solución se elabora a una concentración mayor y se diluye a la concentración óptima antes de aplicarla a la mezcla rápida.



Figura 1-20. Dosificador por gravedad de orificio de carga constante (1)

Los dosificadores de este tipo (figura 1-20) tienen la ventaja de que se pueden fabricar localmente, pero es necesario ejercer un buen control de calidad, principalmente del sistema de calibración de la dosis.

En la figura 1-21 se puede apreciar el esquema de una instalación completa de dosificación en solución por gravedad, con dosificador de fabricación artesanal.

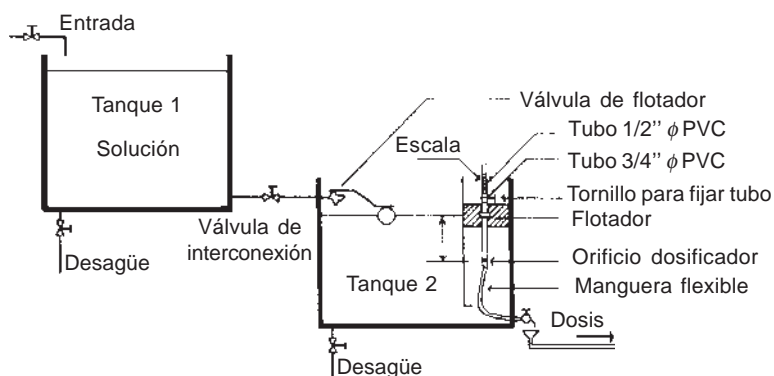


Figura 1-21. Sistema de dosificación en solución por gravedad (2)

2.2 Dimensionamiento de los sistemas de dosificación

2.2.1 Sistemas de dosificación en seco

La selección de los equipos de dosificación en seco se efectúa determinando el rango de trabajo que deberá tener el equipo. Este rango está constituido por los límites máximo y mínimo de dosificación que se deberán atender, los cuales se determinan a partir de la información obtenida en el estudio de laboratorio (curva de dosis óptima *versus* turbiedad de agua cruda). Véase la figura 1-4.

Conociendo la turbiedad máxima y mínima que deberá tratar el sistema, se obtendrán de la curva de dosificación las dosis máximas (D_M) y mínimas (D_m) y se calcularán los pesos máximos y mínimos que debe aplicar el equipo.

El cálculo se facilita utilizando la ecuación de balance de masas:

$$Q \times D = q \times C = P \quad (3)$$

Donde:

- Q = caudal de diseño de la planta en L/s
- D = dosis promedio de coagulante en mg/L
- q = caudal promedio de solución por aplicar en L/s
- C = concentración de la solución en mg/L
- P = peso del reactivo por dosificar en m³/s o kg/d

$$D = (D_M + D_m)/2 \quad (4)$$

$$R = P_M - P_m \quad (5)$$

Donde:

R = rango del dosificador

P_M = peso máximo del reactivo (mg/s o kg/d)

P_m = peso mínimo del reactivo (mg/s o kg/d)

Volumen del tanque de solución

El tanque incorporado al dosificador deberá tener idealmente un volumen tal que permita la disolución del producto y obtener una solución con una concentración igual a la óptima obtenida en el laboratorio.

Sin embargo, como se puede apreciar en la figura 1-22, estos tanques son muy pequeños y las concentraciones que se obtienen están siempre fuera del rango recomendado ($C = 1$ a 2%), por lo es necesario en estos casos aplicar un caudal adicional de agua para obtener la concentración óptima antes del punto de aplicación.

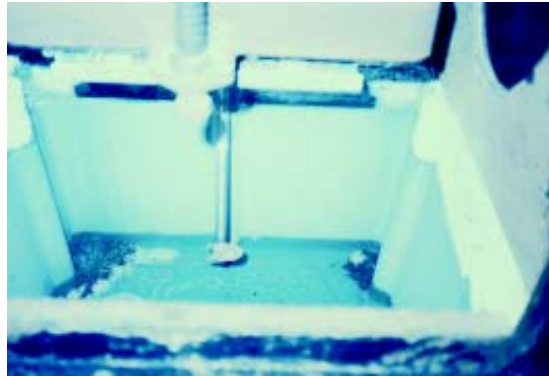


Figura 1-22. Tanque de solución de los dosificadores en seco (1)

El tiempo de retención en este tanque debe ser mayor de 5 minutos o preferentemente de 10 minutos, para que se produzca la polimerización adecuada de los coagulantes y se obtenga la mayor eficiencia.

En el cuadro 1-3, se indican las capacidades y rangos de trabajo de diferentes tipos de dosificadores en seco y se presentan algunas recomendaciones sobre el tamaño y tipo de material para el cual deben ser usados.

Cuadro 1-3. Dosificadores en seco (2)

Tipo	Clasificación	Uso	Capacidad pies ³ /hora	Variación
Volumétricos	Plato oscilante	Cualquier material granular o en polvo	0,01 – 35	1 – 40
	Garganta oscilante	Cualquier material, en cualquier tamaño	0,02 – 100	1 – 40
	Disco rotatorio	Mayoría de materiales en forma granular o en polvo	0,01 – 1	1 – 20
	Cilindro rotatorio	Cualquier material granular o en polvo	7 – 300 8 – 2.000	1 – 100 1 – 10
	Tornillo	Material muy seco, en forma granular o en polvo	0,05 – 18	1 – 20
	Cinta	Material seco, en forma granular o en polvo, con un tamaño máximo de 1 ½”	0,1 – 3.000	1 – 10 1 - 100
Gravimétricos	Cinta y balanza	Material seco o húmedo en forma granular o en polvo (deben usarse agitadores para mantener una densidad constante)	0,02 – 2	1 - 100
	Pérdida de peso	Mayoría de materiales en forma granular o en polvo	0,02 - 80	1 - 100

- Este tipo de dosificadores solo deben ser seleccionados para ciudades grandes en las que se pueda disponer de energía eléctrica en forma continua, ciudades con buen nivel de desarrollo, donde se disponga de los recursos materiales, económicos y de personal necesarios, a fin de que dichos equipos puedan recibir buena operación y mantenimiento. Son dosificadores de alto costo, requieren ser calibrados con frecuencia para mantener su exactitud y son muy susceptibles a los cambios granulométricos provocados por la humedad.
- No se recomienda utilizarlos para caudales menores de 20 L/s.
- Para la dosificación de cal, el uso de vibradores es esencial.

En el cuadro 1-4 se presenta un ejemplo del cálculo previo que debe efectuarse para seleccionar un dosificador en seco.

Cuadro 1-4. Selección de un dosificador en seco (2)

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Q=300 Q=1.080 D _M =80 D _m =20	L/s m ³ /h mg/L mg/L	$P_M = Q \times D_M / 1.000$	$P_M = 1.080 \times 80 / 1.000$ $P_M = 86,4$ $P_m = 1.080 \times 20 / 1.000$ $P_m = 21,6$	Peso máximo de coagulante Peso mínimo de coagulante	kg/h kg/h
2			$R = P_M - P_m$	$R = 86,4 - 21,6$	Rango del dosificador	kg/h
3			$Cpd = \left(\frac{P_M + P_m}{2} \right) \times 24$	$Cpd = (86,4 + 21,6) \times 12$ $Cpd = 1.296$	Consumo promedio diario	kg/h
4	$\delta = 964$	kg/m ³	$V = Cpd / \delta$ $V = 1,34$	$V = 1.296 / 964$	Volumen de la tolva del dosificador	m ³
5			$D = \frac{D_M + D_m}{2}$	$D = 50$	Dosis media	mg/L
6	C=3 C=30.000 To=5	% mg/L min	$V' = Q \times D \times To / C$	$V' = \frac{300 \times 50 \times 5 \times 60}{30.000}$ $V' = 150$	Volumen del tanque de disolución	Litros

Con los resultados obtenidos en el cálculo, se consultan los catálogos de los fabricantes, para definir las especificaciones técnicas de los equipos.

2.2.2 Dosificación en solución

Esta instalación se compone de un tanque de preparación de la solución y del sistema de dosificación, que puede ser por bombeo o por gravedad.

El tanque de solución se diseña con el volumen necesario para que brinde servicio durante un turno de operación (T). La duración de cada turno es normalmente de 8 horas.

Deben considerarse siempre dos unidades, una en operación y la otra en preparación, de manera que el cambio pueda ser rápido y la dosificación continua.

En instalaciones grandes, para que los tanques no resulten demasiado voluminosos, se diseñan para concentraciones altas (10 ó 20%) y la concentración óptima se regula con una aplicación de agua adicional a la salida del dosificador. El caudal de agua adicional debe calibrarse con un rotámetro, para que la concentración de la solución sea exacta y corresponda a la óptima.

Las tuberías de solución se diseñan para un caudal máximo calculado mediante la ecuación (3), considerando la dosis máxima (D_M). El material de estas tuberías debe ser resistente a las sustancias químicas que van a transportar. Normalmente se utilizan tuberías de plástico o de acero inoxidable.

El cuadro 1-5 muestra un ejemplo de cálculo aplicando la ecuación de balance de masas indicada anteriormente.

Cuadro 1-5. Proceso de cálculo de un sistema de dosificación en solución (2)

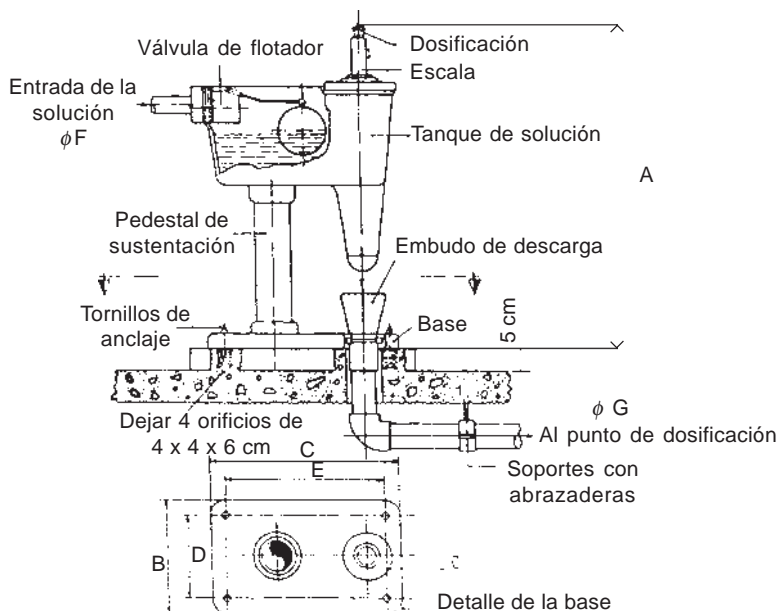
Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Q=300 D _M =80 D _m =8 C=10 C=100.000	L/s mg/L mg/L % mg/L	$q = \frac{Q \times (D_M + D_m)}{2 \times C}$	$q = \frac{300 \times 44}{100.000}$ $q = 0,132$ $q = 11,4$	Caudal de solución promedio al 10%	L/s m ³ /d
2	C=2	%		$q = \frac{300 \times 44}{20.000}$ $q = 0,66$ $q = 57,0$	Caudal de solución promedio al 2%	L/s m ³ /d
3	T=8,42	horas	$V = Q \times T$	$V = 11,4 \times 8,42/24$ $V = 4,0$	Volumen del tanque de solución para C=10%	m ³
4				$V = 57 \times 8,42/24$ $V = 20$	Volumen del tanque de solución para C=2%	m ³
5			$P = Q \times D$	$P = 300 \times 44$ $P = 13.200$ $P = 1.140$	Consumo promedio diario	mg/s kg/d
6			$P_0 = P \times T/24$	$P_0 = 1.140 \times 8,42/24$ $P_0 = 400$	Consumo por tanque	kg

Cuadro 1-5. Proceso de cálculo de un sistema de dosificación en solución (continuación)

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
7	Pb = 50	kg	$N.^{\circ} = P_o / P_b$	$N.^{\circ} = 400/50$ $N.^{\circ} = 8$	Número de bolsas	
8				$Q_{\text{agua}} = \frac{(20-4) \times 1.000}{8,42 \times 3.600}$ $Q_{\text{agua}} = 0,5$	Caudal de agua adicional que se debe aplicar a la salida del dosificador	L/s
9			$qM = Q \times D_m / C$	$qM = \frac{300 \times 80}{100.000}$ $qM = 0,24$ $qM = 864$	Caudal máximo por dosificar	L/s L/h
10			$q_m = Q \times D_m / C$	$q_m = \frac{300 \times 8}{100.000}$ $q_m = 0,024$ $q_m = 86,4$	Caudal mínimo por dosificar	L/s L/h
11			$R = qM - q_m$	$R = 864 - 86,4$	Rango del dosificador	L/h

Como se puede observar en los resultados del cuadro 1-5, el volumen del tanque para que la solución esté al 2% es de 20 m³ y para 10%, de 4 m³, por lo que si se adopta la alternativa con el tanque de 4 m³, para que la solución se aplique con la concentración óptima de 2%, se deberá inyectar a la tubería que sale del dosificador un caudal de agua filtrada de 0,53 L/s.

El rango del dosificador que se requiere debe ser de 864 a 86,4 L/h. Con este dato entramos a la tabla de la figura 1-23 y elegimos el dosificador de 0 a 1.000 L/h que cubre el rango de trabajo requerido. Se puede observar en la tabla que la tubería de entrada al dosificador debe ser de 1", y la de salida, de 1 1/2" de diámetro.



Dimensiones:

Tamaño	Capacidad	A	B	C	D	E	φF	φG
1	0 - 400 L/h	760	200	400	140	340	3/4"	1 1/2"
2	0 - 1.000 L/h	760	200	400	140	340	1"	1 1/2"
3	0 - 2.500 L/h	880	310	530	250	470	1 1/2"	2"
4	0 - 4.000 L/h	880	310	530	250	470	2"	2 1/2"

Medidas en milímetros

Figura 1-23. Cuadro para seleccionar la capacidad del dosificador por gravedad de orificio de carga constante (2)

En general, el saturador consta de un tanque con fondo cónico o piramidal, donde se deposita la cal que va a ser disuelta. El agua se introduce por el fondo del tanque, mediante un tubo recto instalado en su interior, y es colectada en la superficie libre mediante canaletas o tubos perforados.

Se gradúa la dosificación mediante el ajuste del caudal de agua que se introduce en el saturador y la concentración de cal presente se determina a intervalos convenientes.

Se recomienda el uso de un hidrómetro en la entrada de agua a la unidad, tanto para determinar el caudal como para evaluar la cantidad de cal disponible en el saturador. Cuando la cantidad de cal disponible es pequeña, la concentración de la solución es baja y es necesario aumentar la cantidad de agua e introducir más cal. Estas unidades pueden ser de tipo estático o dinámico (figuras 1-24 y 1-25).

Criterios de diseño

- El tanque debe dimensionarse de tal modo que se garantice una velocidad ascensional de 0,5 a 1,0 L/s/m² o una dosis de cal de 0,6 a 1,2 g/s/m².
- El tanque debe ser suficientemente alto como para facilitar la distribución uniforme del agua introducida por el fondo.
- Para el cálculo de la unidad, se requiere conocer la temperatura del agua y la solubilidad de la cal a esa temperatura. Para el dimensionamiento, se emplea la ecuación de balance de masas. Véase el ejemplo de cálculo en el cuadro 1-6.

2.3 Recomendaciones para el proyecto

Habiendo dimensionado ya todas las instalaciones, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para diseñar los planos que corresponden a estos ambientes:

- La sala de dosificación debe ubicarse lo más cerca posible de la unidad de mezcla rápida, para que la tubería de conducción de la solución no sea muy larga y para no incrementar demasiado las pérdidas de carga. La tubería de conducción de la solución debe proyectarse sin muchas vueltas y accesorios para evitar atoros y pérdidas de carga excesivas. La salida del dosifi-

Cuadro 1-6. Cálculo del saturador de cal (2)

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	$Q = 100$ $D = 10$ $C = 0,2$	L/s mg/L %	$q = Q \times D / C$	$q = 100 \times 10 / 2.000$ $q = 0,50$ $q = 43,2$	Caudal de operación del saturador	L/s m ³ /d
2	$Va = 0,5$	L/s/m ²	$A = q / Va$	$A = 0,5 / 0,5 = 1$	Área del saturador	m ²
3	$B = 0,40$	m	$Ab = B \times B$	$Ab = 0,4 \times 0,4$ $Ab = 0,16$	Área de la base	m ²
4	$H = 2,5$	m	$Vol = (Ab + A) / H / 2$	$Vol = (0,16 + 1,0) \times 2,5 / 2$ $Vol. = 1,45$	Volumen del saturador	m ³
5			$P = Q \times D \times 0,0864$	$P = 100 \times 10 \times 0,864$ $P = 86,4$	Consumo diario de cal	kg
6	$I = 20$	%	$P^* = P / (I - I)$	$P^* = 86,4 / (1 - 0,2)$ $P = 108$	Consumo con impurezas	kg

cador y el inicio de la tubería de conducción deben ser abiertos para que se facilite la calibración del equipo.

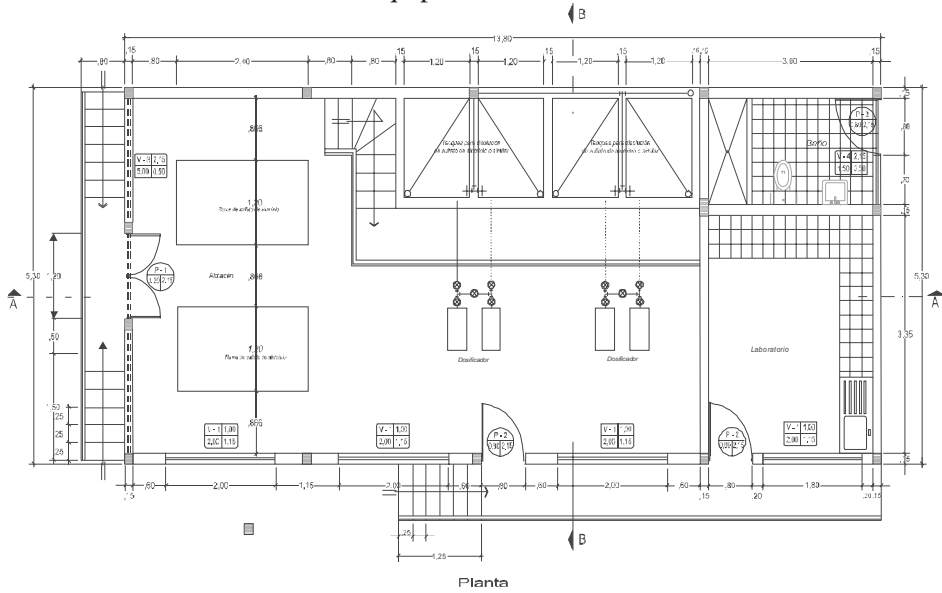


Figura 1-26. Vista en planta de la sala de dosificación, almacén de sustancias químicas, laboratorio de control de procesos y servicios higiénicos (I)

- El desnivel entre la salida del dosificador y la tubería con perforaciones o el difusor para aplicar el coagulante en la unidad de mezcla rápida debe compensar las pérdidas de carga en todo el recorrido, además de una altura adicional para que la solución tenga presión en la salida. Normalmente, cuando ambos extremos están bien próximos, se deja una diferencia de altura de un metro.

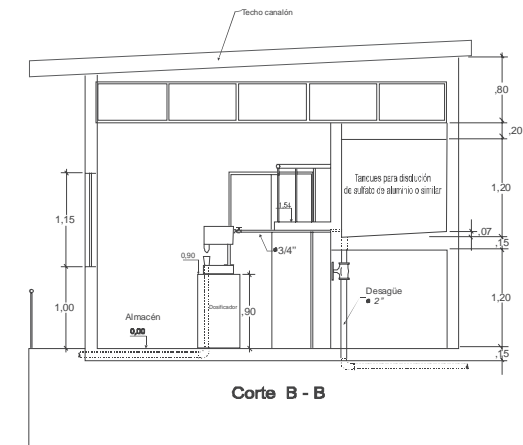


Figura 1-27. Vista de un corte de la sala de dosificación (I)

- Debe considerarse un tanque de preparación de solución por cada sustancia química que se va a aplicar. Los tanques deben proyectarse en una sola hilera. La altura a la que se coloquen los tanques depende del tipo de dosificador. Si se va a aplicar la solución por bombeo, los tanques pueden estar ubicados directamente sobre el piso de la sala (figura 1-17), pero si la aplicación es por gravedad, el fondo del tanque debe coincidir con el nivel de la tubería de entrada al dosificador (véase la figura 1-27).
- La tubería de salida del tanque de solución debe colocarse 0,10 centímetros por encima del fondo del tanque para que no salga el sedimento que queda después de que el sulfato se ha disuelto, porque esto puede atorar la válvula de aguja del dosificador.
- Cada tanque debe tener un agitador para disolver el sulfato de aluminio. En plantas muy pequeñas la agitación puede hacerse en forma manual. Cuando se deba aplicar cal, es indispensable el agitador eléctrico, porque la cal no se solubiliza en el agua. Solo se puede mantener en suspensión cuando la agitación es constante. Si no se agita, la cal se sedimenta y se estaría aplicando solo agua.
- Cada tanque debe tener instalaciones para el llenado con agua filtrada, salida, desagüe y rebose. El fondo del tanque debe tener pendiente hacia el punto de salida del desagüe para facilitar su rápida limpieza antes de la preparación de la nueva solución. El agua filtrada puede provenir de un tanque ubicado sobre el edificio de la casa de química, el cual se abastece por bombeo desde la caja de salida de los filtros o desde el tanque de aguas claras.
- En plantas pequeñas y medianas el almacén debe estar contiguo a la sala de dosificación para compactar las instalaciones y facilitar la labor del operador (figura 1-26).
- Las ventanas del almacén deben colocarse solo en la parte superior para dar iluminación y evitar que la caída de una ruma de material pueda romper los vidrios. Ubicar el nivel de la puerta de entrada colindante con una pista de ingreso de camiones y de manera que coincida con la altura de la plataforma del camión, para facilitar la descarga de las bolsas de sustancias químicas (figura 1-28).

- Cuando se utilicen dosificadores en seco, el almacén siempre se colocará en el primer piso y también la sala de dosificación. Por la altura que tienen estos equipos, el acceso a las tolvas se hará desde el segundo piso, donde se mantendrá una existencia de sustancias químicas como para un día de operación, la que se transportará mediante un montacargas desde el almacén.



Figura 1-28. Entrada al almacén de sustancias químicas (1)

3. DEFECTOS DE DISEÑO MÁS COMUNES

En contraste con la figura 1-28, en la que mostramos la forma adecuada de entrada a un almacén, en la figura 1-29 se puede observar una entrada por debajo del nivel normal del terreno, donde, además de dificultarse el traslado de las sustancias químicas al almacén, estas sustancias están sometidas a un alto riesgo de deterioro por causa de una posible inundación. Cabe agregar que este almacén corresponde a una planta ubicada en una zona muy lluviosa.



Figura 1-29. Almacén mal ubicado (1)

Cuando el almacén no ha sido correctamente dimensionado, suelen presentarse situaciones como la que se ilustra en la figura 1-30, por falta de capacidad del almacén. Las bolsas de sustancias químicas se han apilado entre los dosificadores, lo que difi-

culta y entorpece las actividades de operación.

En contraste con la situación anterior, en la figura 1-31 podemos observar un almacén escandalosamente sobredimensionado, donde la existencia normal de sustancias químicas puede observarse en una pequeña ruma muy al fondo. Además del evidente derroche que ello supone, también se generan dificultades en la operación,

debido a que los trabajadores deberán desplazarse innecesariamente sobre distancias muy grandes para realizar sus actividades.



Figura 1-30. Consecuencia de la falta de capacidad del almacén (1)



Figura 1-31. Almacén sobredimensionado (1)

bados extraordinariamente buenos para un almacén. Actualmente, las instalaciones se usan como sala de capacitación.

En un almacén las ventanas deben considerarse solo en la parte alta para iluminar bien el ambiente. Sin embargo, a menudo se encuentran situaciones como la que se ilustra en la figura 1-32. En este almacén, si una ruma de bolsas se ladea y desploma, puede romper los vidrios de las ventanas. Este caso es muy especial, porque, además, las ventanas tienen marcos de aluminio y el piso es de madera, ac-



Figura 1-32. Ventanas mal ubicadas

4. LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS

Toda planta de tratamiento de agua, por más pequeña que sea, debe contar con un laboratorio de control de procesos, donde por lo menos se puedan controlar los parámetros básicos: turbiedad, color, pH, alcalinidad, cloro residual y coliformes fecales o termotolerantes. Si no hay control, no se podrá conocer en qué medida la instalación está cumpliendo con sus objetivos de calidad y el personal de operación puede volverse muy complaciente con la eficiencia del sistema.

- En este ambiente debe considerarse cuando menos un lavadero, un mostrador para operar los equipos y un escritorio o mesa de trabajo para el químico, auxiliar de laboratorio u operador encargado de realizar las pruebas de control de procesos.
- Toda planta debe contar por lo menos con los equipos necesarios para controlar la eficiencia de los procesos. Para que la planta pueda iniciar su operación correctamente, estos equipos deben ser considerados en el proyecto. Son muchas las plantas en las que se encuentra una habitación con mostradores que debió ser el laboratorio de la planta, pero por no haberse considerado los equipos en el proyecto, llevan años operando sin ellos. Los equipos mínimos que debe tener un laboratorio para ejecutar el control de los procesos son los siguientes:
 - turbidímetro nefelométrico;
 - medidor de pH;

-
- bureta;
 - equipo de prueba de jarras, con seis jarras de un litro con deflectores; comparador de cloro;
 - vidriería: pipetas, vasitos, baguetas, etcétera;
 - materiales: papel Whatman 40, seis embudos de plástico y vasitos de plástico;
 - equipo portátil para la determinación de coliformes totales y termotolerantes por el método de membranas;
 - termómetro.
- En el caso de una planta pequeña, el programa de control de calidad podrá efectuarse desde un laboratorio central o regional.
 - En una planta grande deben considerarse en ambientes separados el laboratorio de control fisicoquímico y el laboratorio de control bacteriológico. Podrán efectuarse en la planta los dos programas de control de procesos y de calidad, en el supuesto de que estos laboratorios son atendidos por personal profesional especializado. El control de los procesos puede ser efectuado por operadores capacitados supervisados por el personal profesional, mientras que el de calidad, por el personal profesional. En estos casos, dependiendo de la capacidad de la planta, se recomienda considerar instalaciones independientes.
 - La sala de cloración debe ser siempre independiente y alejada de las demás edificaciones de la planta, para evitar que una fuga de cloro comprometa los equipos de dosificación o de laboratorio, así como al personal que labora en estas dependencias. Es posible adosarla a la casa de química, pero con puertas y ventanas suficientes, de tal manera que las emanaciones de cloro de ningún modo puedan ingresar a esta.

REFERENCIAS

- (1) Vargas, L. Fotos y proyectos de archivo. Lima, CEPIS/OPS.
- (2) Pérez Carrión, J. M. y L. Vargas. *Criterios de diseño para la dosificación y mezcla rápida. Tomo I, Manual III: Diseño*. Lima, Programa Regional HPE/CEPIS/OPS, 1992.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Pérez Carrión, J. M. *Manejo de sustancias químicas*. Lima, CEPIS, 1982.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB. *Técnicas de abastecimiento y tratamiento de agua*. 2.^a edición. São Paulo, 1977.

Pérez Carrión, J. M. *Estado del arte, coagulación. Manual*. CIFCA/CEPIS/OPS/OMS. 1977.

Cuadro A.1. Sustancias químicas más empleadas en el tratamiento de agua por etapas (continuación)

Sustancias químicas	Ablandamiento	Ajustes de pH	Auxiliares de coagulación	Coagulación	Control de algas	Control de olores y sabores	Control de corrosión y depósitos	Declaración	Desinfección	Filtración	Floculación	Fluoruración	Remoción de color	Remoción del Fe-Mn	Remoción del arsénico	Remoción del bario	Remoción de cadmio y cromo	Remoción del flúor	Remoción del mercurio	Remoción del selenio	Remoción del plomo y la plata	Remoción de compuestos orgánicos bióxidos			
30. Óxido de calcio	x																								
31. Ozono		x							x				x												
32. Permanganato de potasio								x																	
33. Policloruro de aluminio			x									x													
34. Polielectrolitos artificiales			x	x						x	x														
35. Polielectrolitos naturales			x	x						x	x														
36. Polifosfato de sodio							x							x											
37. Pirofosfato sódico							x							x											
38. Sílice activada			x	x						x	x														
39. Silicato de sodio				x																					
40. Silicofluoruro de amoníaco													x												
41. Silicofluoruro de sodio												x													
42. Sulfato de aluminio			x	x										x											
43. Sulfato férrico			x	x										x											
44. Sulfato ferroso			x	x																					
45. Sulfato ferroso clorado				x									x												

Preparación de sílice activada

Cuadro A.2. Datos complementarios sobre compuestos químicos utilizados en el tratamiento de agua (2)

Compuesto	Fórmula	Presentación	Embalaje	Densidad	Concentración comercial	Forma	Tipos de dosificación	Accesorios	Material adecuado para manejo	Observaciones sobre solubilidad
1. Ácido sulfúrico	H_2SO_4	Líquido	Botellones 20 x 50 L	60-66° Bc	77-93%	Líquida	Solución	Seguridad	Acero-plástico	
2. Amoniaco	NH_3	Gas	Cilindros de acero 50-100-150 L (pintado de verde)	1	90-100% NH_3	Gas	Dosificadores de gas	Balanzas	Hierro, acero, vidrio, níquel, plástico	
3. Bentonita (arcilla coloidal)	H_2O (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , 3 Mg O), $4SiO_2$, NH_2O	Polvo Gránulos finos	Bolsas de 25-45 kg	0,723-0,964 0,964-1,206		Granular Lechada	Grav. PP <250 kg/h correa >250 kg/h Vol. disco 5 kg/h	Agitadores de tolvas, tanques, motores a prueba de obturaciones	Hierro, acero, plástico	Insoluble
4. Hidróxido de calcio (cal)	$Ca(OH)_2$	Polvo	Bolsas de 45 kg	0,562-0,80	82-99% Ca (OH) ₂ 62-74 CaO	Partículas finas Lechada	Saturadores solución Grav. PP <280 kg/h Vol. >Disco 10 kg/h solución	Extractores de polvo Agitadores en tolvas Motores a atascamiento		0,18 – 0,15 f (temp) 0,10-1 kg/L
5. Cal dolomítica	CaO , Mg O	Polvo granular Grava	Bolsas de 25-30-45 kg	0,59-0,961-1,20	55-57% CaO 27-40 MgO	Grava Granular				
6. Carbón activado	C	Polvo granular	Bolsas de 35 kg o en tambores 5,2 kg	Polvo 8,28	10% huesos 90% carbón vegetal	Polvo Lechada	Grava Pérdida de peso Vol.-disco Líqu. Rototipo	Agitadores de tolvas Rotores a prueba de atascamiento Bombas de transferencia	<i>Seco:</i> hierro, acero <i>Húmedo:</i> acero, caucho, bronce	Insoluble

Cuadro A.2. Datos complementarios sobre compuestos químicos utilizados en el tratamiento de agua (continuación)

Compuesto	Fórmula	Presentación	Embalaje	Densidad	Concen- tración comercial	Forma	Tipos de dosificación	Accesorios	Material adecuado para manejo	Obser- vaciones sobre solubi- lidad
6. Carbono activado	C	Polvo granular	Bolsas de 35 kg o en tambores 5,2 kg	Polvo 8,28	10% huesos 90% carbón vegetal	Polvo Lechada	Grava Pérdida de peso Vol.-disco Líq. Rototipo	Agitadores de tolvas Rotores a prueba de atacamiento Bombas de transferencia	Seco: hierro, acero Húmedo: acero, caucho, bronce	Insoluble
7. Carbonato de calcio	CaCO ₃	Polvo granular Grava	Bolsas de 25-45 kg o en tambores	0,562-0,964 1,60 1,85	96-99%	De acuerdo con el uso Polvo no es adecuado	Saturadores Grava PP>280 kg/h Correa 25- 2.700 Vol. Disco > 5 kg/h	Agitadores en tolvas, motores y unidades a prueba de obturaciones	Hierro, plástico, cerámica, caucho	47-29% f (temp)
8. Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	Cristales Polvo	Bolsas de 45 kg Tambores 11,45 kg	Extra liv. 0,482 Liviano 0,642 Pesado 1,042	99,2% NaCO ₃ 58% Na ₂ 6	Pesado	Solución Grava > 10 kg/h Vol. disco 10 kg/h	Agitadores de tolvas Tanques de solución muy grandes	Hierro, acero, caucho, plástico	7-39% f (temp)
9. Cloro	Cl ₂	Gas líquido bajo presión	Cilindros de acero 100-150 lb Tanques de 15 toneladas	2,49 (con respecto al aire)	99,8%	Gas vapori- zado	Cloradores de solución	Balanzas Inter- conectores Vaporizadores	Líquido: hierro, cobre, acero, plástico plata, caucho, plástico	1,46 - 0,57 f (temp)
10. Cloruro férico	FeCl ₃ (anhidro solución) FeCl ₃ ·6H ₂ O (cristal)	Solución cristales granular	Botellón 19,50 (l) Tambores 45.180 kg Tambores 68.158 kg	0,96-1,04 0,72-0,96	35-45% 60% 96-97%	Solución	Rototipo <6.800 L/h Proporcional > 200 L/h	Tanques de almacena- miento y disolución	Caucho, vidrio, cerámica, plástico	65-91 75

Cuadro A.2. Datos complementarios sobre compuestos químicos utilizados en el tratamiento de agua (continuación)

Compuesto	Fórmula	Presentación	Embalaje	Densidad	Concentración comercial	Forma	Tipos de dosificación	Accesorios	Material adecuado para manejo	Observaciones sobre solubilidad
11. Hidróxido de sodio	NaOH	Polvos	Tambores 10, 25, 135 kg	0,80-0,90	98,9% NaOH 24,7% Na ₂ O	Únicamente en solución	Solución	Protección del personal	Hierro fundido, acero, caucho	
12. Hipoclorito de sodio	Ca(OCl) ₂ 4 H ₂ O	Polvos granular	Tambores 28-45-136 kg	0,80-0,885	70% Cloro	Solución	Solución Grava 250 kg/h Vol 10 kg/h	Agitadores		22-23% f (temp)
13. Hipoclorito de sodio	NaOCl	Solución	Botellón 25-50 L Tambores 100 L		13% NaOCl 12,5	Solución	Solución	Tanques, medidores de agua	Plástico caucho, cerámica	
14. Ozono	O ₃	Gas	Generado en planta por descargas eléctricas del aire		1% de ozono en el aire		Ozonadores	Difusión Decantadores de aire	Vidrio, aluminio, cerámica	49,4 cm ³
15. Policloruro de aluminio	Al _n (OH) _m Cl _{3n-m}	PAC-250 A Líquido PAC-250 AD Polvos	Tambores Bolsas Tambores	1-19-1,21 0,80-0,90	10,5% Al ₂ O ₃ 30% Al ₂ O ₃	Solución Polvos	Solución Vol. grava	Bombas dosificadoras Tanques de solución	Plástico, caucho	
16. Sílice activada	SiO ₂	Producción en planta	—	1,20-3,30 kg/L	41° Be, silicato de sodio diluido a 1,5% antes de ser activado por alumbre, sulfato amónico, cloro, bicarbonato de sodio y ácido sulfúrico	Líquida; con concentraciones de 0,6-1 c. u. para evitar formaciones de gel	Solución	Tanques de almacenamiento Sistemas de lavado		

Cuadro A.2. Datos complementarios sobre compuestos químicos utilizados en el tratamiento de agua (continuación)

Compuesto	Fórmula	Presentación	Embalaje	Densidad	Concentración comercial	Forma	Tipos de dosificación	Accesorios	Material adecuado para manejo	Observaciones sobre solubilidad
17. Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3$ $KSO_4 \cdot 24 H_2O$ (aprox.)	Gránulos Polvo Bloques Líquido	Bolsas 45-90 kg Tambores 158-181 kg Producido en planta	0,964-1,206	17% Al_2O_3 (min.)	Bloques Gránulos	Saturación Solución Grava > 100 kg/h Vol. > 5 kg/h	Agitadores en tanques de solución y tolvas Control de temperatura	Seco: hierro, acero, plástico Húmedo: plástico, caucho, acero, cerámica	5,7 a 17% (temp)
18. Sulfato férrico (sulfato de hierro)	$Fe_2(SO_4)_3$ $3 H_2O$ Ferri-clear $Fe_2(SO_4)_3$ Ferri-floc	Gránulos	Bolsas 45 kg Tambores 180 kg	1,121-1,153	68% $Fe_2(SO_4)_3$ 18,5% Fe 76% $Fe(SO_4)_3$ 21% Fe	Gránulos Solución	Grava < 286 kg/h Vol. > 45 kg/h Cualquier tipo	Tanques de solución con mezclador eléctrico y extractor de vapor	Acero inoxidable, caucho, plomo cerámica, plástico	Muy soluble
19. Sulfato ferroso (coperas)	$FeSO_4$ $7 H_2O$	Gránulos Cristales Polvo Bloques	Bolsas 45 kg Tambores 180 kg	1,03-1,06	55% $FeSO_4$ 20% Fe	Gránulos Solución (op)	Grava > 900 kg/h Vol. universal > 2.800 kg/h	Tanques de solución con mezclador eléctrico Balanzas	Seco: hierro, acero, concreto Húmedo: caucho, hierro, asfalto, acero galvanizado, plástico	0,05 kg/L T. ret= 5 min. Poco soluble
20. Sulfato de cobre	$CuSO_4$ $5 H_2O$	Gránulos Polvo Bloques	Bolsas 45 kg Tambores 180 kg	1-1,20 0,95-1,10 0,80-0,85	99%	Polvo	Reservorios Sacos de aspilleras Planta Dosif. vol. gran. o sol.	Botas, tanques de solución, bombas Tanques de solución	Acero inoxidable, asfalto, caucho, plástico, cerámica	19-21% (temp)