

d) Demanda de agua (Q_n).

Sólo unos cuantos litros de agua al día son necesarios para satisfacer las necesidades del cuerpo humano, y no obstante ser una cantidad relativamente pequeña comparada con una dotación normal per cápita, incluidas las necesidades del comercio y la industria (menos del 5%), ésta es sin embargo absolutamente vital, porque sin ella el hombre perecería.

En la etapa inmediatamente posterior a la emergencia, las empresas de abastecimiento de agua no están en situación de abastecer, parcial o totalmente, a la población, a través de su sistema de distribución. Esta situación plantea la necesidad de que se deban prever los medios de abastecer una cantidad mínima esencial de agua, en forma temporal, por algún medio diferente del habitual, y de que anticipándonos a esta situación, nos aseguremos de que cada vivienda tenga disponible una reserva limitada para su abastecimiento.

Muchos países exigen que cada vivienda tenga siempre una pequeña cantidad de agua disponible para emergencias. En los países bajos, por ejemplo, se ha planteado que cada vivienda podría tener un abastecimiento mínimo de agua para siete días, almacenado en cántaros, sobre la base de un mínimo de cinco litros por persona por día. Los hospitales e instituciones similares también deberán autoabastecerse durante los siete días, con una dotación mínima de 50 litros por cama por día y un adicional de un 20% para limpieza y operaciones.

En Zurich, por ejemplo, a cada vivienda se le exige que tenga almacenado en el sótano o en un refugio apropiado, una cantidad equivalente a diez litros por persona. Estas regulaciones están basadas en cálculos aproximados sobre el tiempo necesario para que un abastecimiento público pueda ser por lo menos parcialmente rehabilitado.

Muchas empresas de abastecimiento de agua exigen como requisito normal que cada vivienda y cada consumidor industrial o comercial esté provisto de un tanque adecuado, en el cual almacene agua proveniente del servicio público. Esta pequeña reserva de agua en cada punto de consumo se puede considerar como un abastecimiento potencial de emergencia, pero éstas muy limitadas reservas podrían ser usadas inadvertidamente durante el consumo normal en la etapa previa a la emergencia, por lo que podrían no estar disponibles en el momento necesario.

Las reservas de agua almacenadas en las viviendas se puede esperar que duren solamente un día o algo así, después de lo cual el abastecimiento de agua público deberá comenzar a abastecer una pequeña cantidad y a medida que el tiempo transcurra, el aumento del consumo hará necesario ir incrementando el abastecimiento. El gráfico de la Figura 3 - 3 ilustra esta situación.

Inmediatamente después de ocurrida la emergencia se ha observado un consumo muy elevado (Q_{n1}), atribuido a las fugas debidas a las grietas, roturas y desperfectos producidos al sistema, así como a las necesidades de agua para sofocar incendios que normalmente se producen durante estas emergencias. Pocas horas después, el caudal decrece a un mínimo (Q_{n2}), que representa la demanda mínima vital para cubrir las necesidades básicas, la cual permanece durante algunos días o puede prolongarse peligrosamente, dependiendo del estado del sistema, de las medidas de prevención implantadas con anterioridad a la emergencia y de los recursos técnicos y financieros disponibles por la empresa. Se produce posteriormente un período de recuperación del sistema, el cual permite incrementar el caudal producido hasta llegar nuevamente al nivel normal.

En otros países, (Holanda, Suiza y España), se han previsto recipientes plásticos con capacidad de 2 a 10 litros para ser distribuidos durante la etapa inmediata al desastre y satisfacer de este modo la demanda mínima vital (Q_{n2}). El agua en estos recipientes puede permanecer almacenada en condiciones satisfactorias por períodos de más de cinco años, después de lo cual es reemplazada por agua fresca. Estos recipientes son guardados en sitios seguros (refugios) a los cuales no puedan llegar los efectos de ningún tipo de desastre natural o causado por el hombre.

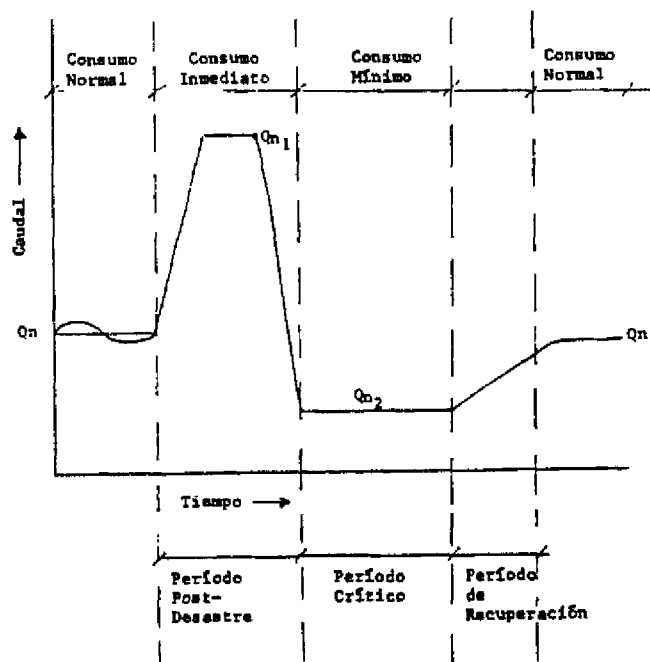


Figura 3 - 3
Variación de la demanda de agua durante un desastre

En otros países (Alemania), se prevee que estas reservas mínimas para cubrir los requerimientos esenciales, se abastezcan a partir de los pozos subterráneos convenientemente protegidos e interconectados a la red de distribución, en las zonas donde el abastecimiento de emergencia es prioritario. Estos pozos de emergencia son construídos de acuerdo a un diseño tipo y están ubicados dentro de las áreas urbanas, de tal modo que satisfagan la demanda mínima de agua apreciada en un promedio de 15 litros por persona por día, mínimo vital para suplir las necesidades domésticas, de instalaciones y hospitales, a una distancia promedio de 750 metros. Estos pozos están completamente equipados en su interior. Con este tipo de sistema se ha previsto abastecer la demanda mínima a casi el 25% de la población de Alemania Occidental.

En otros casos (Austria y Suiza), se han previsto plantas de tratamiento móviles con capacidad para producir 5 litros por persona por día, a una población de 25,000 habitantes. Estas plantas son capaces de eliminar además la contaminación por radioactividad y pueden ser transportadas por helicóptero.

Para fines de este análisis surge la necesidad de definir el caudal necesario, el cual oscilará entre Q_{n1} y Q_{n2} . Se supone que la diferencia de este promedio con la demanda Q_{n1} la deben proporcionar las reservas almacenadas. La decisión pasa a ser exclusivamente dependiente de un análisis económico entre costos de posibles daños (curva A), versus costos de ampliación de capacidad de servicios (curva B), recomendiándose determinar este caudal en base al punto de intersección de las dos curvas A y B (Figura 3 - 4).

e) Capacidad útil del sistema.

Inmediatamente después de ocurrido el desastre, se empezarán a sentir los efectos de éste sobre el sistema, afectando el normal desenvolvimiento de sus funciones. Los efectos se harán evidentes en la calidad y cantidad del agua que se distribuya.

Trasladando a un plano general del sistema los daños estimados en el análisis anterior podemos ponderar cuál sería la capacidad de producción del sistema (Q_p) bajo las circunstancias asumidas. Puesto que los daños producidos por cada desastre son diferentes, el valor de (Q_p) será variable en cada caso.

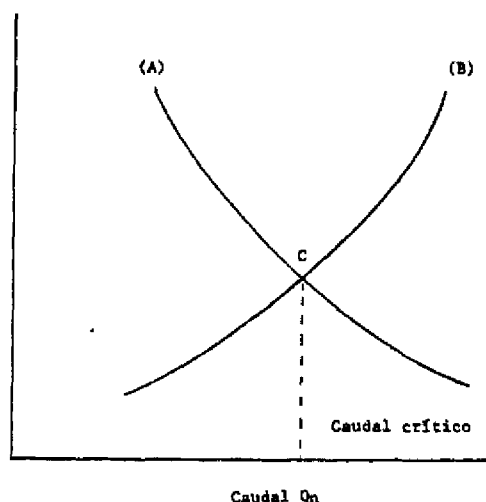


Figura 3 - 4
Análisis económico de la demanda de agua
bajo condiciones de emergencia

f) Identificación de los componentes críticos.

Determinadas la capacidad útil remanente del sistema, (Q_p), la demanda mínima (Q_n) para cada tipo de desastre y aplicando cualquiera de los criterios de confiabilidad enunciados, es posible identificar los componentes más críticos y el desastre ante el cual el sistema es más vulnerable.

Así por ejemplo, se llegó a los resultados de la tabla 3 - 3, mediante un estudio similar al de la Tabla 3 - 2, aplicado a cada uno de los desastres identificados. En la tabla 3 - 3 se agruparon los coeficientes de confiabilidad (CE) obtenidos para cada componente bajo los efectos de cada uno de los desastres, utilizando el siguiente criterio:

$$CE = Q_p / Q_n$$

Se determinó la confiabilidad total del sistema ante cada desastre (C_T), determinando la media geométrica de los valores de (CE) para cada desastre.

$$C_T = \sqrt[N]{CE_1 \cdot CE_2 \cdot CE_3 \cdot \dots \cdot CE_N}$$

El valor más bajo de (C_T) indica que el desastre ante el cual el sistema es menos confiable y por consiguiente más vulnerable.

Tomando la media aritmética (X), de los valores de (CE), para cada componente bajo los efectos de todos los desastres a los que está expuesto, se determinará a los componentes más críticos del sistema.

Del análisis de la Tabla 3 - 2 podríamos concluir que el sistema estudiado es muy vulnerable al desastre # 5 y que el componente más crítico es la conducción, siguiéndole en orden la fuente y la captación.

Tabla 3 - 3
Análisis de confiabilidad y/o vulnerabilidad de un sistema
bajo efecto de supuestos desastres

Componentes	Coeficientes de confiabilidad (CE)					Componentes críticos	
	D. 1	D. 2	D. 3	D. 4	D. 5	X	Orden
Fuentes	0.56	0.30	0.35	0.80	0.25	0.45	2
Captación	0.56	0.30	0.35	0.80	0.25	0.45	2
Conducción	0.44	0.40	0.40	0.50	0.35	0.42	1
Planta de tratamiento	1.10	0.40	0.40	1.20	0.30	0.68	5
Almacenamiento	0.56	0.30	0.35	0.60	0.50	0.46	3
Aducción	0.28	0.50	0.60	0.50	0.50	0.48	4
Redes	1.56	1.60	2.00	1.60	0.80	1.55	6
Valores de (C_T)	0.63	0.44	0.50	0.78	0.38		

Comentarios.

La aplicación de esta metodología permite identificar los componentes más críticos de un sistema, o sea, a los que se deberá dar prioridad de protección al momento de implementar medidas previas, como parte del plan de emergencia del sistema.

En muchos de los sistemas, sobre todo en los más pequeños, por pertenecer a poblaciones menores, será difícil encontrar datos históricos que permitan la elaboración de un análisis de riesgos de la zona. En estos casos se aconseja efectuar un análisis estimativo, basado en el comportamiento de estructuras similares, utilizando la experiencia de desastres anteriores de la localidad o de otros lugares.

APLICACION A PLANTAS DE TRATAMIENTO.

Introducción.

Es de fundamental importancia tener en cuenta que, en la mayor parte de las instalaciones de tratamiento de agua, la falla de una estructura, equipo mecánico, eléctrico o elementos como tuberías o válvulas, puede dar lugar a que toda la instalación quede fuera de servicio. De todos los componentes de un sistema, la planta de tratamiento es la que físicamente presenta mayor extensión de instalaciones expuestas a la intemperie y por ende a desastres de todo tipo; por eso la gran importancia que tiene la determinación de su confiabilidad y vulnerabilidad.

Para asegurar un abastecimiento adecuado en calidad y cantidad, las medidas que se adopten para asegurar la confiabilidad de las instalaciones de tratamiento de agua deben estar basadas en las consecuencias potenciales de que queden fuera de servicio una parte o la totalidad de las instalaciones durante un período de tiempo determinado, o de que se produzca agua que no alcance los estándares de agua para consumo humano. El diseño o análisis de una planta de tratamiento debe ser efectuado sobre la base de que la falla de cualquier elemento de la planta no debe impedir que ésta opere con el caudal de diseño, ni de que se produzca agua que no esté con los estándares establecidos para bebida. Más aún, el diseño debe prever flexibilidad operacional suficiente para absorber problemas de variaciones de calidad de agua cruda. Debe preverse inclusive, capacidad de reserva en cada una de las unidades de tal modo que la eficiencia del proceso pueda mantenerse aún cuando una unidad completa deba ser puesta fuera de servicio.

Análisis de riesgos.

De acuerdo al flujograma de la Figura 3 - 1 se inicia el análisis determinando los desastres de la zona y sus parámetros respectivos, para estimar o calcular (dependiendo del grado de riesgo potencial del fenómeno) los daños que podrían ocasionarse a las instalaciones de la planta. Los desastres que más comúnmente afectan a las plantas son los sismos, inundaciones, avenidas, huracanes y atentados de origen humano (Segunda Parte)

Descripción de la planta de tratamiento.

El número y características de los elementos independientes que conforman una planta de tratamiento de agua, dependen de la calidad del agua cruda y del tipo de solución tecnológica seleccionada, por lo que esta descripción deberá hacerse específicamente de la planta que se está analizando.

Una planta de tratamiento comprende principalmente los siguientes procesos:

- | | |
|--|---|
| <p>a. Acondicionamiento previo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rejas • desarenador • microcernido • presedimentación | <p>c. Filtración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lenta • rápida • directa |
| <p>b. Pretratamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • prefiltración • sedimentación • aereación • coagulación • floculación • decantación | <p>d. Desinfección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • precloración • post-cloración • recloración |
| | <p>e. Otros procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • fluoruración • control de corrosión • control de olores y sabores |

Los elementos independientes en los cuales se dan estos procesos están constituidos por estructuras, equipos y tuberías, los cuales se deben describir indicando materiales, estado de conservación y tipo de terreno sobre el que se encuentran. En el caso de equipos, se debe indicar además, marca del equipo, tipo de energía y estado del anclaje, etc. En relación a las tuberías se indicará material, antigüedad, tipo de unión y tipo de terreno en el que están instaladas. Se deberá indicar cualquier otro tipo de detalle que sirva para estimar la confiabilidad o vulnerabilidad del elemento.

Posibles efectos de un desastre.

Se indican a continuación los daños más comunes identificados en evaluaciones de plantas afectadas por desastres.

A. Sismos

Los daños siguientes se identificaron en los terremotos de Los Angeles, Guatemala, Perú y Nicaragua.

- Interrupción del funcionamiento de todos los equipos eléctricos debido a la falta de corriente. En el terremoto del 31 de mayo de 1970 en el Perú, se destruyeron las instalaciones de la Hidroeléctrica del Cañón del Pato, que abastecía a la ciudad de Chimbote.

En el terremoto del 23 de diciembre de 1972 en Managua, se consideró al sistema de agua una de las prioridades para el reabastecimiento de la energía, por ser el sistema de abastecimiento por bombeo.

- Agrietamiento y destrucción de estructuras y tuberías. De la experiencia de terremotos anteriores se ha visto que las estructuras más vulnerables en las plantas de tratamiento son los sedimentadores, sobre todo cuando están apoyados sobre el terreno. También el falso fondo de los filtros, el cual dependiendo del tipo de diseño puede colapsar bajo la acción del esfuerzo generado por el sismo y por el peso del lecho filtrante.

Las uniones rígidas en las instalaciones de tuberías de succión e impulsión traen como resultado la ruptura de las mismas a consecuencia de la vibración del sismo, y el agrietamiento de muros y losas debido a anclajes rígidos de las tuberías, especialmente de tuberías normales a la dirección del sismo.

- Contaminación del influente a la planta. Los sismos causan por lo general derrumbes y deslizamientos de terreno a lo largo de los cursos de agua, incrementando notablemente la turbiedad, creándose problemas adicionales de tratamiento.
- Interrupción de las comunicaciones. Los derrumbes y avalanchas cierran los caminos de acceso aislando los componentes del sistema y entorpeciendo las acciones.
- Incremento desmedido de la demanda de agua. Por incendios después de los sismos, por fugas causadas por el agrietamiento de las unidades y de las instalaciones que son causa de fuerte desperdicio y pueden provocar deslizamientos posteriores o pérdida de la capacidad de soporte de los suelos.
- Interrupción parcial o total de la alimentación a la planta. Por derrumbes y deslizamientos que afectan la captación y conducción.
- Falla en los anclajes de los equipos. Falla muy común, generalmente debida a la falta o al inadecuado diseño de los anclajes. Los dosificadores y cloradores son los más afectados.

B. Avenidas y avalanchas.

Dependiendo de la magnitud de éstas, los daños pueden ser muy serios, pudiendo quedar enterrados toda la ciudad y el sistema (Yungay 1970). Los daños más frecuentes en estos casos son:

- Destrucción parcial o total de las instalaciones.
- Acumulación de lodo y piedras dentro de las instalaciones.
- Interrupción del tratamiento debido al daño sufrido por las instalaciones.
- Destrucción de la captación y conducción interrumpiendo el servicio a la planta.

C. Ciclones, huracanes y tornados.

Este tipo de fenómeno meteorológico azota constantemente la zona del Caribe creando continuos problemas en las instalaciones. Los daños más probables en las plantas de tratamiento son los siguientes.

- Contaminación de las fuentes. Por los deslizamientos y derrumbes.
- Destrucción parcial o total de las obras de captación, conducción y tratamiento.
- Paralización de la operación de las instalaciones. Debido a los daños en las instalaciones y al riesgo que corre el personal ante la violencia del fenómeno.

Grado de confiabilidad de la planta.

Factores que influyen en la confiabilidad:

A continuación se desarrollan algunos de los factores que más influyen en la confiabilidad de una planta de tratamiento, los cuales deben ser tenidos en cuenta tanto en la etapa de diseño, como en la ejecución del análisis de vulnerabilidad de la planta.

A1. Redundancia.

La redundancia se relaciona con el número de equipos o unidades existentes, funcionando en paralelo para mejorar la confiabilidad de la planta.

Una unidad de mezcla rápida adicional (asumiendo que la primera proporciona la capacidad de diseño requerida), incrementa la confiabilidad en mayor extensión que en el caso de tener dos unidades con la mitad de la capacidad de diseño.

A2. Cargas y parámetros utilizados.

Adoptando criterios de diseño conservadores se puede tener capacidad de tratamiento adicional. Por ejemplo, 3 sedimentadores dimensionados para una carga superficial de $40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, cada uno, pueden recibir una sobrecarga de 50%, lo que resultaría ser equivalente a tener una unidad de reserva del proceso.

A3. Número de procesos.

La confiabilidad de la planta también puede ser mejorada cuando más de un proceso que es capaz de realizar una función dada es incluido en el sistema. La sedimentación y la filtración, ambas en sus formas más simples, sirven para remover material en suspensión. La confiabilidad de remover material en suspensión es mejorada al proveer sedimentación antes de la filtración.

A4. Flexibilidad o capacidad de interconexión de las unidades.

La confiabilidad total de una planta es también influenciada por el grado de flexibilidad de la operación inherente a un determinado diseño. Por ejemplo, teniendo la flexibilidad de agregar permanganato de potasio, ozono, o dióxido de cloro, así como carbón activado en polvo a los procesos de tratamiento, para tratar problemas de olor y sabor, se incrementará la capacidad para eliminar su presencia en el agua producida.

La confiabilidad del sistema puede mejorarse a través del uso de unidades en paralelo, diseños simples o arreglos más funcionales de las unidades, e interconexiones de los mismos procesos de tratamiento. Un sistema flexible le ofrece al operador un juego de alternativas de las cuales se pueden seleccionar aquellas que mejor se ajusten a las necesidades en cualquier tiempo en particular.

A5. Configuración de las unidades.

El uso de unidades que combinan dos o más funciones o procesos es menos confiable que el uso de unidades individuales para un sólo proceso. Por ejemplo los clarifloculadores presentan la inconveniencia de que al fallar una de las dos funciones, se anulan los dos procesos. Si las etapas de floculación y clarificación son construídas como unidades separadas, entonces a lo sumo sólo un floculador y un clarificador estarían fuera de servicio.

Otro ejemplo se da en una planta con dos series de producción en paralelo, teniendo cada una varias de las unidades mostradas en la figura 3 - 5 (nótese que no existen interconexiones entre las dos series). Las series operan en paralelo y son totalmente independientes la una de la otra. Si el proceso A se interrumpe en una de las series y el proceso B en la otra, la planta completa queda fuera de servicio, o por lo menos, su eficiencia podría quedar disminuída.

La figura 3 - 6 muestra una alternativa de diseño mucho más confiable, debido a que las dos series están interconectadas entre sus procesos.

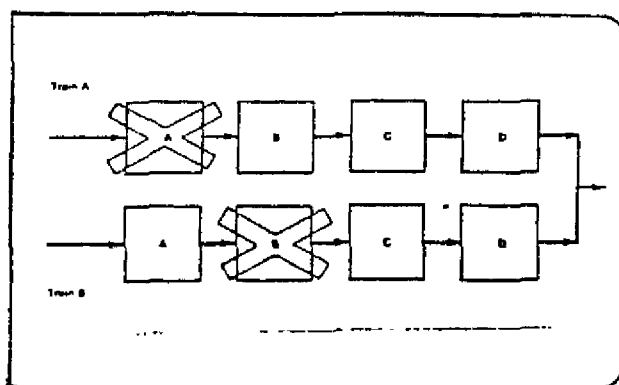


Figura 3 - 5

Ejemplo de fracaso de una planta por falta de interconexiones entre las dos series de procesos.

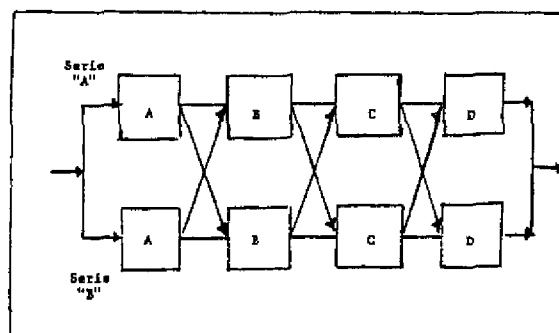


Figura 3 - 6

Alternativa más confiable de interconexión de procesos

A medida que el número de unidades separadas de un componente, previstas para desempeñar una función específica decrecen, la confiabilidad comienza a ser extremadamente importante. Cuando se proveen dos unidades, la confiabilidad debe ser la primera consideración. Por lo general, se requiere un número mínimo de 2 unidades para cada proceso primariamente responsable de cumplir los estándares de agua de bebida. Para un abastecimiento superficial, tales procesos deben incluir coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección como mínimo. Entre los procesos que no requieren tener como mínimo dos unidades por motivos de confiabilidad, podrían estar la aereación para remoción de dióxido de carbono, desagüe de instalaciones, procesamiento de lodos, a no ser que el tamaño de las instalaciones indiquen lo contrario. Otros ejemplos incluyen ciertos dosificadores de químicos, tales como flúor y exametafosfatos para control de corrosión.

A6. Flujo hidráulico.

Quizás nada es tan confiable como la gravedad. Al seleccionarse un diseño, debe tenerse muy en consideración el uso de flujo hidráulico, tratando de minimizar el uso de bombeo al estrictamente necesario. Cuando se tengan varias soluciones alternativas para un diseño, debe darse prioridad al Flujo Hidráulico en aquellos procesos que son críticos para establecer la calidad final del agua. Por ejemplo, en el esquema de una planta, que usa la carga topográfica para dar flujo hidráulico a los procesos de mezcla rápida, floculación, decantación y filtración, es más confiable dar la misma carga para dar flujo hidráulico a un tanque de almacenamiento de agua de lavado, que dar la misma carga al sistema de producción.

En este ejemplo el bombeo es necesario en uno de los dos casos, pero las consecuencias de una falla de las bombas son dramáticamente diferentes. Igualmente, la localización del equipo de dosificación de sustancias químicas, de tal manera que sea posible su distribución por gravedad al proceso de mezcla, puede incrementar su confiabilidad. El flujo por gravedad de químicos depende específicamente del tipo de sustancia. El gas cloro, por ejemplo, generalmente necesita ser disuelto en agua, requiriéndose inyectar el agua por bombeo. Otras sustancias químicas, tales como la cal, el sulfato de aluminio, la soda cáustica y el carbón activado, son a menudo mejor controladas y alimentadas mediante sistemas a gravedad.

A7. Confiabilidad de las instalaciones de la planta.

La confiabilidad de la planta de tratamiento está críticamente afectada por la confiabilidad de su fuente de energía eléctrica. Sin energía eléctrica, todos los equipos mecánicos y eléctricos cesan de operar.

En muchos lugares se exige que una planta de tratamiento sea servida simultáneamente por dos fuentes de energía eléctrica diferentes. A menudo, una fuente de energía de reserva, tal como generadores de corriente a gas, o diesel, es necesaria para asegurar la capacidad de operación durante un corte de energía.

Adicionalmente son necesarias subestaciones dobles de transformación, disyuntores primarios duplicados y otros componentes para mantener la integridad del sistema de suministro eléctrico. una fuente de energía de reserva es de poco valor si una subestación primaria de transformación falla e impide que la energía pueda ser utilizada.

El mantenimiento de una reserva de sustancias químicas en la planta es también crítico para su confiabilidad. La reserva debe ser suficiente para asegurar la producción de agua de acuerdo al flujo de diseño durante un período de tiempo razonable.

En algunos casos las necesidades de reserva se formularán de acuerdo con la accesibilidad a la planta. La localización de la fuente más cercana de sustancias químicas puede también influir en las necesidades de almacenamiento.

La producción in situ de sustancias químicas puede ofrecer ventajas en términos de confiabilidad.

A8. Operación y mantenimiento.

Una apropiada operación y mantenimiento es crucial para la confiabilidad de la planta. El apropiado entrenamiento de los operadores impedirá muchas fallas en los procesos. La adecuada atención dada al mantenimiento ayudará a prevenir las fallas en los equipos. Un mantenimiento inadecuado incrementará indudablemente la probabilidad y severidad de daños al producirse un desastre.

Un programa de seguridad es una necesidad en cualquier planta de tratamiento de agua. Las prácticas de seguridad con el personal son necesarias no sólo para proteger su salud, sino también para las actividades de operación.

B. Determinación del grado de confiabilidad

Siguiendo la secuencia del flujograma general de análisis (Figura 3 - 1), una vez elaborado el plano de análisis de riesgos y superpuesto a éste el esquema general de instalaciones de la planta (plano de vulnerabilidad del sistema) se determinará los componentes más afectados.

Se analizará la magnitud del daño, teniendo en cuenta la magnitud de los esfuerzos o el grado de erosión que éstos puedan experimentar de acuerdo al análisis de riesgos. Se verificará como están afectando a los procesos los factores analizados en el acápite anterior y como síntesis de este estudio, se determinará la capacidad útil remanente de cada proceso (Q_p).

La demanda mínima (Q_n), podrá determinarse de acuerdo al criterio general indicado en 3.1, Metodología general para sistemas de abastecimiento de agua.

Determinados estos dos parámetros, se podrá determinar cuantitativamente la confiabilidad de una unidad de un proceso (C_u), mediante el empleo de los criterios básicos establecidos en la metodología general:

$$C_u = Q_p / Q_n \quad , \quad \leq 1 \quad (1)$$

$$C_u = 1 - \frac{(Q_p / Q_n)^n + (Q_p / Q_n)}{2} \quad (2)$$

Este valor se modificará además, teniendo en cuenta el número existente de unidades en paralelo:

$$C_p = 1 - (1 - C_u)^m \quad (3)$$

En forma análoga se puede analizar la instalación de la planta en relación a cada desastre identificado, obteniéndose cuadros similares a la tabla 3 - 4 en cada uno de los casos.

En la Tabla 3 - 5 se han resumido los resultados del análisis de los procesos para cada desastre utilizando los criterios que más se ajusten a las circunstancias Metodología general para sistemas de abastecimiento de agua.

$$C_s = \frac{\sum N_i C_{p_i}}{N} \quad (4)$$

$$C_s = \sqrt[N]{C_{p1} \times C_{p2} \times \dots \times C_{pN}} \quad (5)$$

o simplemente haciéndole igual al menor coeficiente de confiabilidad, se determinará el coeficiente de confiabilidad de cada proceso (Cp^1) y el grado de confiabilidad de todo el sistema de tratamiento (Cs).

Tabla 3 - 4
Confiabilidad de la planta: Desastre # 1.

Procesos	Cu	m	Cp
1. Acondicionamiento previo	0,70	1	0,70
2. Dosificación	0,60	3	0,94
3. Mezcla rápida	0,50	2	0,75
4. Floculación	0,80	2	0,96
5. Decantación	0,40	2	0,64
6. Filtración	0,65	4	0,96
7. Desinfección	0,55	1	0,55

$$Cs = 0,55$$

m = número de unidades

Cu = confiabilidad de cada unidad

Cb = confiabilidad de cada proceso

Cs = confiabilidad de la planta

En el ejemplo de la Tabla 3 - 5, se ha utilizado el criterio de flexibilidad o capacidad de interconexión de las unidades para determinar la confiabilidad de cada proceso y el criterio de configuración de las unidades para determinar la confiabilidad total de la planta.

Del análisis de los resultados obtenidos se puede decir que el proceso más confiable es el de filtración y el más vulnerable la desinfección. La confiabilidad de la planta analizada es de 69%, es decir, que tiene una vulnerabilidad de 31%.

Tabla 3 - 5

Procesos	Confiabilidad de los procesos (Cp)				Cp^N
	D#1	D#2	D#3	D#4	
1. Acondicionamiento previo	0,70	0,80	0,60	0,75	0,71
2. Dosificación	0,94	0,50	0,60	0,55	0,65
3. Mezcla rápida	0,75	0,65	0,70	0,60	0,68
4. Floculación	0,96	0,50	0,60	0,55	0,65
5. Sedimentación	0,64	0,80	0,70	0,75	0,72
6. Filtración	0,96	0,85	0,80	0,90	0,88
7. Desinfección	0,55	0,46	0,50	0,60	0,53

$$Cs = 0,69$$

Las bodegas tienen capacidad para almacenar sustancias para tres meses de operación.

Exactamente debajo de las tolvas se han instalado los dosificadores de sustancias a seco, así: dos unidades para sulfato de aluminio y una unidad para silicofluoruro de sodio.

En la bodega de cloro hay instalaciones para la descarga, depósito y manejo de los tanques (2.000 libras cada uno), que contienen el cloro en estado líquido a presión.

Se han instalado cuatro cloradores, en los que se mide y controla el flujo de cloro. En los puntos de aplicación el cloro pasa a través de un eductor, se disuelve en el agua y se le aplica presión suficiente para que entre a la masa de agua.

En el nivel superior hay un tanque para preparar una solución preliminar de polielectrolitos, la que pasa por gravedad a otro tanque en donde se diluye y de éste, mediante un eductor, se conduce al punto de aplicación.

En todos los puntos de aplicación se instalaron orificios con rotámetros.

- A4. **Floculadores.** Del canal repartidor de agua cruda el agua fluye a tres floculadores, constituidos por canales en los que se instalaron pantallas que obligan al agua a cambiar la dirección de su curso continuamente, con el fin de que se produzca una mezcla completa y se formen los flóculos. Los floculadores son de tipo hidráulico y tienen un período de retención de 25 minutos para un caudal de diseño de 960 litros por segundo. Con uno fuera, el período se reduce a 19 minutos.

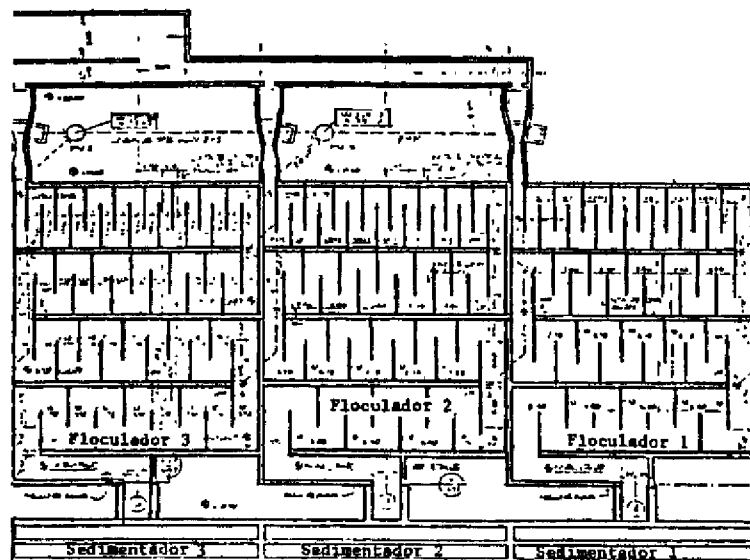


Figura 3 - 8
Floculadores de la planta analizada

- A5. **Decantadores.** Los decantadores son cuatro tanques de concreto de 15,90 metros de ancho 57,80 metros de largo y una profundidad útil de 4,00 metros. Cada decantador ha sido diseñado para una carga superficial de 22,5 metros cúbicos por metro cuadrado por día y un período de retención de 4,25 horas, para el caudal medio de diseño.

En caso de que uno salga fuera de servicio, los valores suben a 30 y 3,2 respectivamente.

- A6. Filtros. Estas instalaciones consisten de: canales auxiliares de entrada, filtros, colector de agua filtrada y galería de mandos.

Los filtros están conectados con los tanques de decantación (como vasos comunicantes) y tienen el mismo nivel que ellos.

Se aplica cloro en el colector de agua filtrada para la desinfección antes del almacenamiento.

Los filtros son del tipo rápido por gravedad y han sido diseñados para operar de acuerdo al principio de velocidad y caudal variable.

El lecho filtrante está constituido por una capa granular colocada sobre un fondo falso perforado.

Se han dispuesto seis filtros, cada uno con un área de filtración de 78 metros cuadrados. Se ha estimado la velocidad de filtración para las seis unidades en 176 metros cúbicos por metro cuadrado por día, la cual se eleva 212 cuando uno de ellos está fuera de servicio.

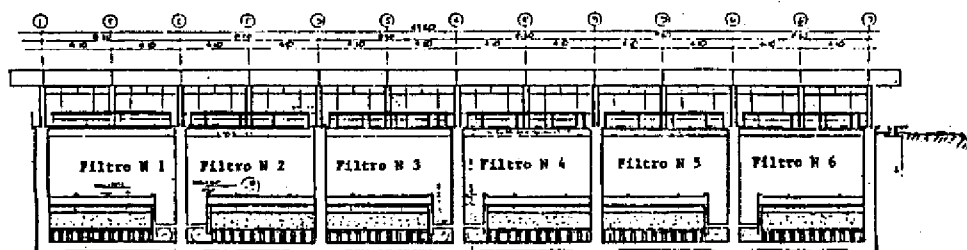


Figura 3 - 9
Batería de filtros de la planta analizada

- A7. Lavado, sistema de recuperación. El agua usada en el retrolavado de los filtros se lleva por gravedad hasta el sistema de recuperación de agua, el cual consiste de dos tanques cilíndricos de concreto; el agua entra a ellos y luego de decantar por un período razonable, se bombea hacia el canal de entrada de agua cruda. Periódicamente se retiran los lodos decantados, mediante una válvula.

- A8. Tanque de aguas claras. El agua procedente de los filtros, luego de recibir una dosis de cloro, ingresa al Tanque de Aguas Claras. Este tiene un volumen de 25.000 metros cúbicos y está construido a un nivel tal que recibe el agua filtrada por gravedad y puede alimentar los tanques de almacenamiento en la ciudad así como alimentar la red de distribución, por gravedad.

El tanque está totalmente cubierto con una losa de concreto y a su salida se ha instalado un medidor magnético que registra los caudales que salen de la planta. Para no interrumpir el abasto a la ciudad cuando sea necesario dejar este tanque fuera de servicio, se instaló un paso directo (Bypass) de 30 pulgadas de diámetro.

- A9. Bombas.
1. Estación de bombeo. En ésta se han instalado casi todas las bombas que sirven la planta. Están instaladas a la intemperie, sobre un pozo de succión que recibe agua del tanque de aguas claras. El volumen útil del pozo es de 301 metros cúbicos.

Las bombas de servicio conducen agua tratada con destino a:

- 1) Aplicación de sustancias químicas;
- 2) operación de las válvulas hidráulicas de los filtros;
- 3) lavado superficial de filtros;

4) abastecimiento de sanitarios, grifos, lavamanos, etc.

Estas bombas pueden ponerse en operación automática o manualmente, según se requiera.

2. Bombas en el sistema de recuperación.
Se han instalado dos bombas en este sistema, del tipo de turbina, con arranque manual.
3. Otras bombas Se instalaron cuatro bombas para tomar muestras de agua en cuatro puntos de la planta.

A10. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico de la planta está alimentado en 13,2 KV por el sistema público, mediante línea procedente de una subestación.

La acometida es aérea hasta un punto que dista aproximadamente 50 metros del Edificio de Servicios. A partir de ese punto, la acometida es subterránea hasta la subestación de transformadores.

La subestación de transformadores está alojada en el Edificio de Servicios. Y en este mismo lugar están el centro de control de motores de las bombas y el generador de emergencia.

La subestación de la planta es del tipo unitario, con transformador trifásico de 500 KVA/480V, en conexión delta-estrella a tierra.

Se ha instalado un generador de emergencia de 300 KW para aumentar el grado de confiabilidad en el funcionamiento de la planta. El generador tiene capacidad para mantener todos los equipos en operación normal.

El generador opera con un motor diesel que arranca en el instante en que se desenergiza la red principal, mediante un interruptor colocado en la subestación.

A11. Control de caudales y niveles. En la planta hay varios puntos de control:

El primero está situado sobre el canal de entrada, en el que se ha construido un medidor parshall para aforar el caudal de agua cruda que ingresa al sistema. Este trabaja dentro de un intervalo de 3.000 a 100 litros por segundo.

El segundo está situado en el ingreso a los floculadores, cada uno con un medidor Parshall secundario y un intervalo de 1.000 a 100 litros por segundo.

El tercero está situado en el ingreso a los filtros y consiste en un indicador de nivel con alarma.

El cuarto está localizado en el canal de agua filtrada y consiste de un medidor Parshall con un intervalo de 3.000 a 100 litros por segundo.

El quinto está localizado en la tubería que sale del tanque de aguas claras hacia la distribución en la ciudad. Consiste de un medidor magnético de 20 pulgadas de diámetro, que registra el caudal la salida de la planta.

A12. Control de calidad.

En el edificio de Administración se ha instalado un laboratorio químico-bacteriológico que fue diseñado y equipado para efectuar todos los análisis químicos y bacteriológicos rutinarios que se necesitan para el control de la planta.

Para disponer de muestras de agua procedentes de diversos puntos de la planta, se instalaron cuatro bombas pequeñas, que descargan en el laboratorio y que operan intermitentemente accionadas por dispositivos de control de tiempo (Timers).

De este modo se obtienen muestras de agua cruda, agua decantada, agua filtrada y agua que va hacia la red de distribución.

A13. Sustancias químicas.

Sulfato de aluminio. El sulfato de aluminio se recibe en forma de polvo empacado en sacos de papel. Una vez dosificado se diluye a la concentración deseada y luego se aplica mediante un inyector. El punto de aplicación del sulfato de aluminio es el canal de entrada.

Las dosis extremas recomendadas para el sulfato de aluminio son 40 mg/litro (mínimo) y 120 mg/litro (máximo). El valor medio es de 50 mg/litro.

Poliectrolitos. Esta sustancia se recibe en forma de cristales en recipientes de 50 libras. Como primer paso se diluyen al 0,5% en un tanque de concreto, pudiendo almacenarse por periodos relativamente largos. En un segundo tanque se preparan diluciones al 0,05% y de éste se conduce a los puntos de aplicación y se inyecta mediante eductores a las dosis recomendadas de 0,002 mg/litro (mínima) y 1,0 mg/litro (máxima), siendo el valor medio de 0,05 mg/litro.

Cal hidratada. La cal hidratada se recibe en polvo, contenida en sacos de 50 libras. Después de la dosificación se diluye en agua hasta las concentraciones recomendadas y luego se conduce a los puntos de aplicación, en los que se inyecta mediante eductores. Los puntos son: en el canal de entrada, previo a la adición del sulfato de aluminio y en el canal de salida de agua filtrada. Cloro.

El cloro se recibe en tanques de 2.000 libras en estado líquido a presión y se extrae de ellos en forma gaseosa, para aplicarlo en:

- a) en el canal de entrada, para combatir algas.
- b) en el canal de ingreso a los filtros, para mejorar la operación de éstos, reducir y regular la carga bacteriana.
- c) en el canal de agua filtrada, para desinfección.
- d) en la salida del tanque de distribución, para desinfección final.

Flúor. Esta sustancia se recibe como silico fluoruro de sodio en sacos de 100 libras. De los dosificadores pasa a ser diluida a la concentración fijada (0,2%) y luego mediante eductores se inyecta a la masa de agua, en un punto de aplicación, al final de todo otro tipo de tratamiento.

A14. Dispositivos de seguridad.

- 1) El cloro se distribuye mediante vacío, no por presión.
El la mayoría de las plantas existe peligro de que una fisura en las tuberías de distribución de cloro de lugar a una fuga de este gas tóxico; en esta planta una fisura absorbe aire de la atmósfera, no existe peligro de fugas.
- 2) La zona de manejo y almacenamiento de cloro es un ambiente abierto. Esto impedirá que, en caso de fugas accidentales de gas, se vea amenazada la seguridad de los operadores.
- 3) La iluminación eléctrica de los ambientes peligrosos está diseñada según las normas más exigentes para este tipo de ambientes, y es especial.
- 4) Las estructuras de los edificios fueron diseñadas para efectos sísmicos de una intensidad que garantiza que sobrellevan sin daños cualquier terremoto de los previsibles en ese país.
- 5) Las estructuras hidráulicas, tanques, canales, y tuberías han sido rigurosamente analizadas para efectos sísmicos, por lo que puede esperarse que no sufran daños en caso de terremoto.