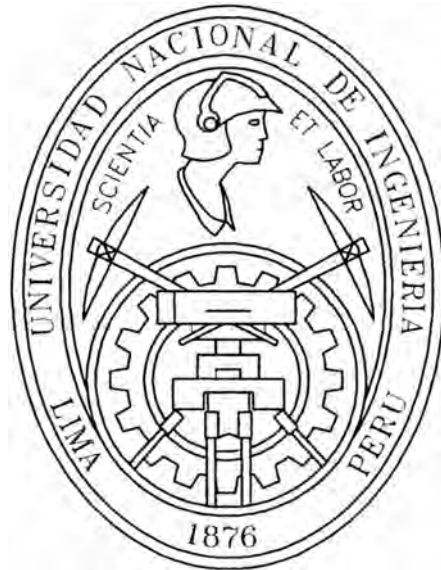


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION  
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ALFREDO ONOFRE YAURI**

**Lima- Perú**

**2008**

## **DEDICATORIA**

**A mis queridos padres Filomeno y Antonia por sus consejos, apoyo incondicional y ejemplo de vida para el logro de este objetivo**

**A mi amada esposa Betty por su amor, apoyo, comprensión, coraje para enfrentar la vida y no desfallecer ante los retos.**

**A mis hijos Alfredo y Alexis por el apoyo en el desarrollo del presente informe de suficiencia .Ya que son la razón de ser para seguir mejorando cada día.**

## **AGRADECIMIENTO**

**A la Ingeniera Ketty Mejia Lucar, por su asesoramiento y apoyo incondicional para culminar el presente informe de suficiencia**

**Al Ingeniero Ricardo Proaño, por su acertado asesoramiento.**

## INDICE

	Pag.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPITULO I PLANTA DE TRATAMIENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 Principios de operación</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 Principios de mantenimiento</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3 Objetivos de operación</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4 Parámetros de control de operación</b> .....	<b>9</b>
<b>1.5 Consideraciones básicas de los procesos de tratamiento</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5.1 Cribado</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5.2 Aforo</b> .....	<b>17</b>
<b>1.5.3 Coagulación, floculación</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5.4 Sedimentación</b> .....	<b>22</b>
<b>1.5.5 Filtración</b> .....	<b>26</b>
<b>1.5.6 Desinfección</b> .....	<b>31</b>
<b>1.6 Registro e informes de operación</b> .....	<b>37</b>
<b>CAPITULO II CORROSION E INCRUSTACION DE POZOS</b> .....	<b>39</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>39</b>
<b>2.1 Incrustaciones en las captaciones de agua</b> .....	<b>44</b>
<b>2.2 Tipos de incrustaciones</b> .....	<b>45</b>
<b>2.3 Importancia de la composición química del agua</b> .....	<b>48</b>
<b>2.4 La incrustación y las características constructivas y de funcionamiento de los pozos</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5 Como evitar las incrustaciones en los pozos</b> .....	<b>52</b>
<b>2.6 Desincrustacion de los pozos</b> .....	<b>53</b>
<b>2.6.1 Aspectos generales</b> .....	<b>53</b>
<b>2.6.2 Tipos de agentes químicos para desincrustar</b> .....	<b>55</b>
<b>2.6.3 Modos de aplicación de los métodos de desincrustacion</b> ..	<b>58</b>
<b>2.6.4 Des incrustación de pozos no revestidos</b> .....	<b>62</b>
<b>2.7 CORROSION</b> .....	<b>63</b>
<b>2.7.1 Generalidades sobre corrosión</b> .....	<b>63</b>
<b>2.7.2 Oxidación</b> .....	<b>64</b>

2.7.3 La disolución de los metales .....	65
2.7.4 fenómenos electrolíticos .....	66
2.7.5 Autoprotección y pasivado .....	69
<b>2.8 LA CORROSION DE LOS POZOS .....</b>	<b>69</b>
2.8.1 Causas de corrosión .....	69
2.8.2 Corrosión general .....	70
2.8.3 Corrosión intergranular y fisurante .....	71
2.8.4 Corrosión selectiva .....	71
2.8.5 Corrosión bimetálica .....	71
2.8.6 Corrosión alveolar o picado .....	72
<b>2.9 COMO PROTEGERSE CONTRA LA CORROSION .....</b>	<b>72</b>
2.9.1 Mejora las condiciones de funcionamiento del pozo .....	73
2.9.2 Aislamiento eléctrico durante la construcción del pozo ----	74
2.9.3 Protección con revestimiento .....	75
2.9.4 Protección catódica .....	76
2.9.5 Empleo de materiales resistentes a la corrosión .....	76
2.9.6 Precauciones complementarias .....	79
2.9.7 Ensayos de corrosión .....	80
<b>2.10 PROTECCION SANITARIA Y ABANDONO DE POZOS .....</b>	<b>81</b>
2.10.1 Necesidad de protección sanitaria .....	81
2.10.2 Agentes y métodos de desinfección .....	81
2.10.3 Procedimientos constructivos para conseguir una .....	82
adecuada protección sanitaria. ....	85
2.10.4 Abandono de pozos. Sellado .....	89
2.10.5 Recuperación de la rejilla de pozos .....	93

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

**FOTOS**

## RESUMEN

En el presente informe de suficiencia se presenta un manual de instrucción sobre la operación y mantenimiento de las aguas de consumo humano en la Universidad Nacional de Educación, está dirigido a los encargados de las plantas de tratamiento de agua. Se ha dividido en dos capítulos. En el primer capítulo se detallan los fundamentos de operación y mantenimiento en general de la planta de tratamiento de aguas superficiales de la Universidad Nacional de Educación. En el segundo capítulo se explican los problemas más comunes que se presentan en los pozos de agua

Este informe de suficiencia debe ser complementado con un curso teórico-práctico para ingenieros de mantenimiento. Las técnicas y conceptos aquí presentados permitirán implementar un plan de mantenimiento al desarrollarlas ampliamente.

## INTRODUCCION

Los objetivos de un sistema de aprovisionamiento de agua son: mejorar la salud, la economía y el desarrollo sin modificar el ambiente. Una solución tecnológica adecuada será aquella que cumple estos objetivos, con el mayor uso de recursos materiales locales, de fácil construcción, operación y mantenimiento.

El presente documento tiene como objetivo el servir de guía para la operación y mantenimiento de la planta de potabilización de la Universidad Nacional de Educación y no debe considerarse como un manual definitivo, el cual puede modificarse de acuerdo al avance en la tecnología y evaluados de acuerdo a las experiencias que se obtengan en el futuro.

El objetivo general del Proyecto responde a la necesidad de contar con un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable eficiente que satisfaga la demanda actual y futura de la población universitaria, asegurando las condiciones sanitarias, que estas requieren para el desarrollo de sus actividades, minimizando costos que conlleva un abastecimiento mediante dos fuentes. Aguas superficiales y subterráneas

El objetivo específico del presente trabajo, que es parte del sistema de abastecimiento de agua potable de la Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y valle", es incorporar los procedimientos de operación y mantenimiento que permita producir el agua potable dentro de los parámetros exigidos.

## CAPITULO I PLANTA DE TRATAMIENTO

### INTRODUCCION

El presente manual tiene como objetivo dar la pautas generales para que el responsable o encargado, oriente y de las instrucciones correctas a los operadores de la planta de manera que, la operación se ejecute de la forma más eficiente posible y alcanzar el objetivo de la planta de potabilización del agua: producción de agua apta para consumo humano al menor costo posible y de manera segura.

La gestión de operación de la planta de tratamiento se puede clasificar en cuatro tipos:

- Operación de puesta en marcha
- Operación normal
- Operación especial o eventual
- Operación de emergencia

El sistema de procesos de tratamiento consiste básicamente en lo siguiente.

- Toma del canal y cuatro desarenadores
- Rampa de medición de caudales y mezcla rápida
- Un floculador hidráulico de flujo horizontal
- Dos sedimentadores (decantadores) laminares de flujo vertical ascendente
- Una cámara de limpieza y extracción de lodos
- Seis filtros rápidos de tasa declinante, medio filtrante doble de arena y antracita con lavado mutuo (lavado de un filtro con el caudal producido por los filtros restantes)
- Casa de operación incluyendo depósito de reactivos, área de dosificación, oficina, laboratorio y servicio sanitario
- Caseta de bombeo con sistema hidroneumático
- Caseta de cloración
- Tanque apoyado de almacenamiento de agua para su distribución



- Obras complementarias:
  - Caminos de acceso
  - Zonas de área verde
  - Cerco y Portón
  - Sistema de desagüe

### 1.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN:

Toda planta de tratamiento de agua debe estar diseñada para que con una operación adecuada pueda producir continuamente el caudal de diseño y satisfacer las normas de calidad de agua establecida.

Dependiendo de las características propias de cada diseño, cuatro factores principales determinan que una planta posea las condiciones requeridas para una operación y un mantenimiento óptimos. Estos cuatro factores son:

- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Mano de Obra
- Automatización y Control

La confiabilidad es el factor más importante puesto que en el caso de plantas de purificación de agua potable ésta debe satisfacer en todo momento los requerimientos de calidad estipulados. Para ello, todos los equipos y unidades de la planta deben operar satisfactoriamente como caudales mínimos o máximos, así como bajo condiciones extremas de calidad del agua. Por lo tanto, los operadores deben estar en capacidad de responder adecuadamente a los cambios del caudal de agua cruda y a las modificaciones de calidad de la misma.

La flexibilidad asegura la producción normal de la planta; la planta debe estar con capacidad de operar continuamente aunque haya uno o más equipos o unidades fuera de servicio por mantenimiento o reparación. Los operadores deben asegurarse de que toda pieza de equipo esencial, bombas, motores,

dosificadores de sustancias químicas, válvulas etc., tenga una unidad de reserva disponible.

La mano de obra es esencial en todo programa de operación y mantenimiento. En toda planta de purificación de agua es necesario que el personal de operación tenga capacidad técnica de operar el equipo y las unidades de la planta, así como para adecuar la dosificación de sustancias químicas y el grado de tratamiento a las variaciones de calidad del agua cruda.

El grado de automatización y control debe ser tal que provea máxima confiabilidad en la operación de la planta. Por lo tanto, equipos y controles automáticos de difícil operación manual son recomendables, pues pueden causar más problemas que beneficios en la operación general de la planta.

## 1.2 PRINCIPIOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es esencial para una operación óptima de la planta de purificación. En un sistema de purificación de agua, el mantenimiento puede considerarse de dos tipos:

- **Mantenimiento Preventivo.**

Conjunto de actividades, recursos y ayudas programados para identificar o prevenir defectos, reemplazar rutinariamente elementos fungibles, registrar e informar daños mayores en la planta de tratamiento y para conservarla, por lo menos, durante su vida económicamente útil.

- **Mantenimiento Correctivo.**

Conjunto de actividades, recursos y ayudas destinados a reparar defectos y daños mayores para restablecer la producción normal de la planta de tratamiento.

En los principales factores por considerar para un mantenimiento satisfactorio, se tienen los siguientes:

- La responsabilidad del mantenimiento debe estar claramente definida y asignada a personal competente.
- Los recursos financieros deben estar claramente definidos y asegurada su disponibilidad oportuna.
- Se debe contar con el tipo de cantidad de herramientas, recursos y programas.
- Todas las actividades de mantenimiento preventivo deben ser planeadas y programadas.
- Debe existir un sistema de control y registro apropiado de las labores de mantenimiento.

### 1.3 OBJETIVOS DE OPERACIÓN:

Cuando se habla de la calidad del agua, el objeto de máximo interés no es realmente el agua sino los materiales presentes en ella. Dichos materiales determinan la potabilidad del agua y, por lo tanto la magnitud del tratamiento requerido. Por ello, los objetivos de la operación de la planta de purificación son básicamente:

- Proteger la salud de la comunidad
- Suministrar un producto estéticamente deseable
- Proteger la propiedad del usuario

La protección de la salud pública implica prever agua segura, carente de organismos patógenos y libres de sustancias tóxicas en concentraciones que pueden constituir riesgos de salud para los consumidores.

El suministro de un agua estéticamente deseable supone el agua con un contenido tan bajo como sea posible de calor, turbiedad, sólidos suspendidos, libre de olores y sabores y una temperatura tan fría como las condiciones ambientales lo permitan.

La protección de la propiedad del usuario se refiere, en el caso de plantas municipales, a la necesidad de suministrar un agua no corrosiva, ni incrustante y con un grado de calidad tal que permita a los industriales su uso, o tratamiento adicional, con un costo mínimo.

#### 1.4 PARÁMETROS DE CONTROL DE OPERACIÓN

El operador de una planta fundamenta la operación de la misma en el mantenimiento de la máxima calidad de su producto. Para ello hace uso principalmente, de análisis físicos, químicos bacteriológicos, de conformidad con un programa de muestreo y análisis, cuya frecuencia e intensidad son función de los problemas particulares de calidad de agua de cada planta. El operador está en capacidad de demostrar la calidad de su producto, tanto a las autoridades encargadas de control sanitario, como a los usuarios del sistema de abastecimiento. Dichos registros son requeridos por muchas industrias para conocer las características del agua suministrada. El contenido de cada catión y anión es valioso para las relaciones con el público y para rebatir las críticas infundadas a la operación de la planta.

El personal requerido, las facilidades de laboratorio y la habilidad o capacidad técnica del personal de operación; son función del tipo de planta de tratamiento operada.

La necesidad de ejercer una supervisión estricta de la operación, las 24 horas del día durante 7 días de la semana, es función de la variabilidad de la calidad del agua cruda y de los métodos de tratamiento usados. Por ejemplo, una planta para remoción principalmente de turbiedad y color de agua cruda proveniente de un embalse, recibirá un agua de calidad relativamente constante, y por lo tanto, requerirá menos supervisión que una planta de ablandamiento o de remoción de hierro y manganeso que esté tratando aguas crudas de calidad variable.

La planta convencional de tratamiento tiene una capacidad de recepción de cargas variables súbitas de contaminación y de caudales, mayor que una planta de filtración directa y por consiguiente, éste requiere personal especializado. En toda planta de tratamiento, no importa su tamaño, es esencial contar con instalaciones y equipo de laboratorio adecuados. El

equipo deber ser suficiente para realizar los análisis requeridos para control continuo y permanente de la operación.

## 1.5 CONSIDERACIONES BÁSICAS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

### 1.5.1 Cribado:

Los problemas más comunes asociados con el cribado son el taponamiento y la corrosión de las rejillas.

Para prevenir estos problemas se requiere limpieza e inspección rutinaria. Las rejillas deben limpiarse frecuentemente como sea necesario. La frecuencia depende del tipo de fuente y de las condiciones locales; generalmente la frecuencia será mayor en invierno, cuando las aguas superficiales transportan una cantidad mayor de material suspendido.

Las condiciones variables de humedad y secado del material de la rejilla promueven su corrosión; por lo tanto, las rejillas deben inspeccionarse por lo menos cada mes para detectar signos de corrosión. Cualquier elemento de la rejilla desgastado o corroído, debe reemplazarse rutinariamente, según la conveniencia del operador, sin esperar la falla del elemento.

Para control se sugiere mantener un registro permanente que incluya: fecha de inspección, cantidad de material removido de la rejilla, tipo de material removido, partes de reemplazo o repuestos requeridos, fecha de descripción de las labores de mantenimientos ejecutados.

### **Desarenador**

Un adecuado mantenimiento de las unidades de sedimentación se hace necesario para asegurar que estas unidades trabajen en forma efectiva y eficiente; si se descuidara este aspecto las unidades (desarenador y sedimentador) podrían no remover las materias suspendidas en el agua, ocasionando una obstrucción en el sistema de filtro o de distribución. Los sedimentos interfieren con el proceso de

sedimentación incrementando la velocidad del agua en el tanque. Además, la acumulación de estos sedimentos pueden causar descomposición y causar sabores y olores en el agua.



**FOTO 1.0:**  
**CAPTACION DEL CANAL**



**FOTO 1.1:**  
**DESARENADOR**



## Herramientas y materiales

Dependiendo del trabajo a realizar y del método a utilizar se pueden emplear diferentes herramientas, equipos y materiales.

### Herramientas

Se debe contar por lo menos con las siguientes herramientas:

- Manual de operación y mantenimiento
- Turbidímetro de campo
- Pala
- Carretilla
- Llave steelson
- Llave francesa
- Llave de cadena
- Baldes
- Escobillas
- Escoba
- Brochas

### Materiales

- Pintura anticorrosiva
- Repuestos y empaquetaduras de válvulas

## Operación

La operación de los desarenadores y sedimentadores es muy sencilla, básicamente es llevar una vigilancia de la eficiencia de éste para proceder a la evacuación de los sedimentos acumulados en el fondo de la unidad. Esta vigilancia está relacionada con el control del caudal que ingresa a la unidad y el control de la calidad de agua efluente.

### CUADRO 1.0: ACTIVIDADES DE OPERACIÓN

Actividad	Acciones claves
Medición y control de caudal	-Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad. -Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Medición de turbiedad	-Medir la turbiedad del agua a la entrada de la unidad. - Medir la turbiedad del agua a la salida de la unidad.
Evacuación de lodos o sedimentos	-Disponer la evacuación de sedimentos del fondo de la unidad, cuando la diferencia entre la turbiedad del agua efluente y el afluente sea baja.
Registro de información	-Anotar en el libro de registro diario los valores de turbiedad en el ingreso y salida de la unidad. -Cambios en el caudal de la fuente durante el día. -Fecha de lavado de la unidad.

#### Mantenimiento

El mantenimiento de los desarenadores es similar a los sedimentadores incluye actividades periódicas que consisten principalmente en el drenaje y evacuación de sedimentos acumulados en el fondo de la unidad.

La evacuación de los sedimentos que se depositan en el fondo de la unidad será cada 6 u 8 semanas dependiendo de la calidad del agua cruda y del volumen del tanque. Si el agua es muy turbia la remoción de sedimentos se debe realizar con mayor frecuencia.



**CUADRO 1.1: ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

<b>Actividad</b>	<b>Acciones claves</b>
<b>Lavado de la unidad</b> Cortar el flujo de agua hacia el tanque	-Cerrar la válvula de entrada al tanque.
Limpieza cámara de entrada	-Desprender el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando escobilla con cerdas de material sintético.
Limpieza de cámara de sedimentación	-Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de lodos y dejar evacuar toda el agua y sedimentos. - Con palas, cubetas, baldes, tablas y carretilla, remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar. Raspar el fondo del tanque y dejarlo completamente limpio. - Si hubieran una bomba y manguera, rociar los sedimentos del fondo. -Enjuagar completamente el tanque antes de restaurar su funcionamiento.
Limpieza cámara de salida	-Desprender el material adherido al fondo y paredes de la cámara.
Poner en funcionamiento	-Cerrar los drenajes y abrir las válvulas para llenar el tanque. -Una vez limpio el tanque debe volver a sus funciones en cuanto sea llenado. Esto debe ser entre 4 a 6 horas, dependiendo del volumen del tanque.

Es importante no realizar los cortes de suministro en horas de máxima demanda. Generalmente, se realizan de medio día a media tarde.

Se deberá advertir a los usuarios sobre los cortes de agua, así estos pueden regular su consumo durante el periodo de corte. Otros mantenimientos que deben realizarse con periodicidad son:

-Engrasado de los dispositivos de apertura de compuertas (mensualmente).

- Pintado de elementos metálicos con pintura anticorrosiva(semestralmente).
- Inspección minuciosa de la unidad, resane de deterioros en la estructura,
- reparación o cambio de válvulas y compuertas (anualmente).

**Registros de operación y mantenimiento :** Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. La Universidad Nacional de Educación conforma un ente para administrar el sistema de abastecimiento de agua; sin embargo, es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema.

Se considera, entre otras funciones principales del operador de una planta de tratamiento, el control del flujo, el monitoreo de la calidad del agua, la limpieza de las unidades de pre tratamiento y la ejecución de actividades generales de mantenimiento. Una herramienta importante para el operador y que contribuye a alcanzar un mejor control sobre el funcionamiento del sistema, es la ficha de control, la cual debe ser llevada diariamente según el programa de seguimiento acordado con el ente de soporte en control y vigilancia de la calidad del agua.

Los registros obtenidos para los parámetros de interés deben ser comparados con los valores deseables, a fin de establecer la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento y tomar las acciones en caso de ser necesarias

**CUADRO 1.2: RESUMEN DE OPERACION Y MANTENIMIENTO**

Componente	Usualmente	Actividad periódica o permanente	Instrumentos de apoyo	Recomendaciones
<b>Desarenador y sedimentador</b>	Inspección visual y movimientos de las válvulas.	Retiro de sedimentos (por manejo de válvulas, accesorio y manual). Limpieza de la estructura (interna, externa). Revisión del estado físico y del funcionamiento (caudal, volumen de agua, rebose, fugas, etc.). Pintura y lubricación de los accesorios.	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios. Herramientas (palas, palustres, cepillos metálicos, materiales como postes, mallas o alambres para cerramiento área de localización, estructura, etc.).	Mantenimiento preventivo: semanalmente limpieza estructura o según estado de los sedimentos. Mantenimiento correctivo: periódicamente.

### 1.5.2 Aforo

Aunque el aforo no es un proceso de tratamiento, el operador de una planta de tratamiento debe hacer aforos para:

- Controlar el caudal de cada proceso de tratamiento.
- Ajustar las dosificaciones de sustancias químicas.
- Determinar las eficiencias de los equipos de bombeo y los requerimientos de potencia.
- Calcular tiempos de retención.
- Controlar el caudal de agua tratada y suministrada.
- Calcular el costo unitario de tratamiento.

En la mayoría de los casos se considera que los registros de caudal deben tener un error menor del 2% para prevenir costos adicionales innecesarios de tratamiento. Cualquiera que sea el tipo de medidor usado: por diferencial de presión, de velocidad, magnético, ultrasónico, vertederos, canaletas Parshall, etc., el operador deberá asegurar la adecuada calibración y exactitud de los aparatos de medida.

El procedimiento para la medición de los caudales es el siguiente

- Leer la altura del agua en el medidor de caudales (MC) localizada en la sala de dosificación de la casa de operaciones
- Leer el caudal de ingreso a la planta en la grafica 3.
- Anotar el valor del caudal en litros/segundo en el formulario respectivo

NOTA: Es necesario encontrar la curva real de descarga del vertedero de entrada de la planta. Esta calibración debe ser efectuada por el ingeniero jefe con la colaboración del personal especializado del laboratorio de control de calidad.

La mezcla rápida de los coagulantes con el agua se produce en el salto hidráulico que se genera al pie de la rampa de entrada posteriormente al desarenador. El operador debe tener en cuenta lo siguiente:

- Cada dosificador está conectado a un difusor o tubería perforada ubicada en la unidad de mezcla rápida.

- El salto hidráulico (turbulencia utilizada para la mezcla) debe generarse cerca de las tuberías perforadas. En caso necesario, utilizar la compuerta graduable para relocalizar el salto en el sitio deseado.

### **Dosificación del sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio es el coagulante principal que se utilizará en la planta de tratamiento. El procedimiento de aplicación es el siguiente:

a.- Preparación de la solución.

- Llenar con agua el tanque de preparación de la solución hasta la marca
- Agregar el número de bolsas de sulfato de aluminio (50kg cada bolsa) para obtener la concentración deseada la cual es seleccionada por el responsable de la planta.
- Encender el mezclador de la solución y dejar agitando por lo menos una hora.

NOTA: Mientras se prepara un tanque de solución, debe operarse con el otro tanque. La zona de dosificación contará con tres tanques de preparación de la solución.

b.- Selección de la dosis óptima.

- Leer la turbiedad del agua cruda (procedimiento en anexo 1)
- Escoger la dosis óptima de la gráfica 1 (anexo 3). Esta gráfica debe ser actualizada por el responsable de la planta de acuerdo con el procedimiento de dosis óptima (ver Anexo 1)
- Con la dosis óptima escoger el caudal de solución requerido en el dosificador para la concentración de la solución. Ver tabla 1 anexo 3.
- Conociendo el caudal de solución, ajustar el dosificador a la posición correcta indicada por la gráfica de calibración correspondiente a ese dosificador. Las gráficas se encuentran en el anexo 3.

NOTA: El responsable de la planta debe indicar al operador la tabla correcta. Así mismo las graficas de Calibración de los dosificadores deben actualizarse cada año.



**FOTO 1.2: MEZCLA RAPIDA**

### **1.5.3 Coagulación, Floculación**

En la operación de los procesos de coagulación y floculación existen tres componentes esenciales:

- Selección de los coagulantes.
- Aplicación de los coagulantes.
- Control de la efectividad de los procesos.

La selección de los coagulantes y ayudas de coagulación es un programa continuo de evaluación con base, generalmente, en el ensayo de jarras. El operador, con base en las características de temperatura, pH, alcalinidad, turbiedad y color de agua cruda, evalúa mediante el ensayo de jarras el tipo de coagulantes a usar y la dosis óptima. La aplicación se efectúa mediante el ajuste manual o automático del sistema de dosificación a la tasa óptima.

Finalmente ejecuta el control de la efectividad de los procesos de coagulación y floculación, principalmente a través de la evaluación de: características del floculo formado, turbiedad del agua sedimentada, frecuencia de lavado de los filtros, filtrabilidad del agua coagulada y floculada.

El operador deberá mantener los registros de la calidad del agua cruda, de los coagulantes y de las dosis óptimas, así como de las observaciones pertinentes a los procesos de coagulación y floculación. La experiencia previa, especialmente en aguas superficiales de calidad variable, es muy valiosa y útil para el operador cuando tenga que enfrentar situaciones similares de tratamiento.

El ajuste, la calibración y el control regular de los dosificadores son esenciales para asegurar las dosis óptimas, así como de las observaciones pertinentes a los procesos de coagulación y floculación. La experiencia previa, especialmente en aguas superficiales de calidad variable, es muy valiosa y útil para el operador cuando tenga que enfrentar situaciones similares de tratamiento.

El ajuste, la calibración y el control regular de los dosificadores son esenciales para asegurar la dosis óptima de los coagulantes. En general, una vez establecida la operación permanente de la planta, se deben comparar las dosis aplicadas con el ensayo de jarras de ajustarlas a la producción de una calidad óptima de agua. Los dosificadores se deben calibrar mediante medidas de la cantidad dispensada, en períodos fijos, por peso o por volumen y no solamente con base en curvas de calibración suministrada por los fabricantes.

Cuando la planta posee floculadores mecánicos, éstos deben ajustarse para proveer un grado de mezcla gradualmente menor a la medida que el agua pasa a través del sistema de floculación. El operador, si dispone de las facilidades para hacerlo, deberá ejecutar ensayos conducentes a establecer la



velocidad óptima de los floculadotes para las distintas condiciones de calidad, temperatura y caudal del agua cruda. Llevando un registro permanente de dichos ensayos de los resultados obtenidos durante períodos prolongados de operación, podrá hacer los ajustes futuros de operación sin necesidad de nuevos ensayos adicionales.

Todas las unidades motoras del proceso de coagulación y floculación deberán someterse a inspección para observación de daños y defectos, así como a un programa rutinario de engrase y lubricación.

El agua mezclada con los productos químicos ingresa al floculador de la planta. La operación es la siguiente:

- a. Tanto las compuertas de ingreso como de salida del floculador deben estar abiertas.
- b. Las válvulas de limpieza deben estar cerradas
- c. Los floculos deben empezar a formarse en el primer tercio de la unidad. De no ser así, la dosificación o las condiciones de mezcla no son las adecuadas.
- d. A la salida del floculador deben haber floculos visibles, si el agua cruda presenta turbiedad superior a los 10 UNT. Para turbiedades inferiores no es posible la floculación y el principal tratamiento se dan en los filtros.

Procedimiento para la limpieza del floculador:

Cada cierto tiempo es necesario efectuar la limpieza del floculador para remover lodos acumulados. La frecuencia depende de la calidad del agua cruda. Durante la época de estiaje normalmente no se requiere limpiar estas unidades.

El procedimiento es el siguiente:

- a. Abrir parcialmente la válvula de manera que un 50% del caudal pase por el paso directo (by-pass de filtración directa).



- b. Colocar compuertas de cierre a la entrada y salida del floculador.
- c. Colocar compuerta intermedia en el canal de agua floculada (distribución a sedimentadores).
- d. Abrir la válvula de limpieza
- e. La limpieza de los floculadores se hace en conjunto con el desarenador y el sedimentador
- f. Utilizar la bomba de lavado para aplicar chorros de agua a las paredes y tabiques del floculador. Utilizar cepillos y escobas para remover costras y cualquier otra sustancia adherida a las paredes.
- g. Concluida la limpieza, cerrar las válvulas de desagüe.
- h. Llenar lentamente el floculador de manera que no se produzcan empujes sobre los tabiques, es necesario llenarlo por ambos lados (entrada y salida).

i.

NOTA: La limpieza de los floculadores solo se efectúa en caso necesario para reducir la pérdida que significa el vaciado de las unidades.



**FOTO 1.3: FLOCULADOR DE PANTALLA PLANA VERTICAL**

#### **1.5.4 Sedimentación**

La función principal de la sedimentación es producir agua clarificada con turbiedad mínima, generalmente menos de 10 UNT, para una filtración

posterior efectiva. Como el proceso de sedimentación dependen de la realización adecuada de la coagulación y floculación, el operador debe asegurar la obtención del mejor flóculo posible antes del sedimentador. En general en los sedimentadores se debe asegurar una distribución adecuada del caudal, minimizar los cambios bruscos del flujo, asegurar una carga de rebose apropiada sobre los vertederos efluentes y controlar las cargas superficiales y los tiempos de retención.

Un flóculo pobre y problemas de cortocircuito son las dificultades más comunes de la operación de sedimentadores. En mayor o menor magnitud, todo sedimentador estará sujeto a problemas de cortocircuito, salida de agua en un tiempo menor que el normal de retención, con el consecuente incremento de carga de turbiedad sobre los filtros.

La causa principal del cortocircuito es un sistema de entrada deficiente; las pantallas perforadas proveen una buena distribución del caudal y evitan el cortocircuito. Si se sospecha de la existencia de cortocircuito se deben realizar análisis del tiempo de retención real mediante trazadores.

Las corrientes de densidad también pueden constituir un problema en los sedimentadores. Ellas ocurren cuando el afluente contiene mayor concentración de sólidos suspendidos o cuando el agua tiene una temperatura menor que la del agua en el sedimentador. En ambos casos el afluente más denso se profundiza al fondo del tanque donde levanta el lodo y produce cortocircuitos. Si se presenta este problema se debe efectuar un estudio para determinar la solución.

El crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes del sedimentador también puede ser un problema en el proceso de sedimentación. Estos crecimientos pueden causar olores y sabores así como taponamiento en los filtros. Dichos crecimientos se pueden controlar mediante

la aplicación de una mezcla de 10 g de sulfato de cobre y 10 g de cal por litro de agua sobre las paredes, con cepillo, cuando los tanques están vacíos.

En tanques con equipo de barrido de lodo, este arrastrado o tolvas de lodo; de allí se extrae mediante un programa elaborado de acuerdo con las variaciones de calidad del agua y el tipo de volumen de lodo producido, para minimizar arrastre de flóculo de los filtros. En tanques sin equipo de barrido de lodos, el programa de su remoción depende del diseño del tanque, del tipo de volumen de lodo producido y de la calidad del agua sedimentada. Los tanques de sedimentación, en general, no deben requerir más de dos o cuatro limpiezas por año.

El ensayo más usado, como se mencionó previamente, para indicar la calidad de la sedimentación es el ensayo de turbiedad. La turbiedad del agua sedimentada debe mantenerse por debajo de 10 UNT. Los registros de control deben incluir, cargas superficiales, cargas de rebose de los vertederos, turbiedad del agua afluente y efluente de cada tanque de sedimentación, cantidad de todo bombeado o extraído de cada tanque, tipos de problemas de operación encontrados y medidas correctivas adoptadas.



**FOTO 1.4: SEDIMENTADOR**

## OPERACIÓN NORMAL DEL SEDIMENTADOR

Durante la operación normal, las compuertas de ingreso a los sedimentadores deben encontrarse abiertas.

No debe existir ningún obstáculo ya que el agua floculada es sensible a los cambios de velocidad lo cual tendría como consecuencia el rompimiento de los flòculos formados y por lo tanto baja eficiencia en los sedimentadores.

Al operar esta unidad se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a. El agua sedimentada debe estar clara siempre a simple vista
- b. La presencia de turbiedad o floculos visibles es indicio de:
  - b.1 Baja eficiencia en la floculación normalmente por dosis equivocada de sulfato de aluminio.
  - b.2 Excesiva velocidad de recolección, que ocasiona la suspensión de los floculos.
  - b.3 Exceso de lodos en los sedimentadores. Introducir una varilla larga y sacarla lentamente. La adherencia del lodo permite determinar la altura de lodos en el fondo del sedimentador

Limpieza general del sedimentador:

- a. Colocar las compuertas a la entrada de la unidad (innecesario si se realiza simultáneamente con el lavado de un floculador).
- b. Abrir la válvula de desagüe
- c. Una vez vacía la unidad, utilizar chorros de agua para remover los lodos de las paredes. Si es necesario, utilizar cepillos para desprender las algas.
- d. Realizar la limpieza de la tolva inferior utilizando chorros de agua para evacuar los lodos
- e. Revisar que los ingresos y salidas del sedimentador estén libres de obstáculos.

NOTA: El encargado debe revisar esta operación

La frecuencia de los lavados varía de acuerdo con la estación. Durante el estiaje es normalmente innecesario efectuar el lavado. Durante la estación lluviosa los lavados son más frecuentes.

Purgas periódica:

Durante la estación lluviosa es posible evitar lavados frecuentes efectuando la siguiente operación

- a. Cerrar la compuerta de entrada
- b. Abrir la válvula de desagüe
- c. Dejar que el nivel de agua baje como máximo 30 cm
- d. Cerrar nuevamente la válvula de desagüe
- e. Abrir la compuerta de entrada
- f. Repetir cada cuatro horas

La purga periódica permite evacuar los lodos antes de que se compacten.

### 1.5.5 Filtración

A pesar de las grandes diferencias existentes entre los tipos de filtros usados para tratamiento de agua, los problemas de operación y mantenimiento de dichas unidades son más o menos similares. Al iniciar la operación de un filtro por gravedad, éste debe llenarse despacio, con agua ascensional, hasta cubrir totalmente el medio, para remover el aire atrapado entre los gránulos de lecho filtrante y prevenir la alteración superficial del medio al entrar el efluente. Este llenado ascensional es recomendado cada vez que se deja bajar el nivel del agua por debajo de la superficie del medio, con el fin de eliminar entrapamientos de aire y prevenir obstrucciones de flujo a través del filtro.

En filtros lentos, al iniciar la operación se requiere un período de acondicionamiento del filtro, el cual puede tomar de 4 a 7 días, para formar una película biológica sobre la superficie de la arena. Durante dicho período

de maduración el agua se desecha hasta que la calidad del efluente indique que se ha desarrollado sobre la arena la película necesaria. En general, la efectividad de la filtración es proporcional a la profundidad y finura de la arena e inversamente proporcional a la tasa de filtración.

Cuando se alcanza la pérdida máxima permisible de carga en el filtro, se suspende la filtración y se procede a limpiarlo. Inicialmente se drena el filtro hasta el punto en que se pueda caminar sobre la arena. Comúnmente se raspa 1-2,5cm de arena superficial; se procede a reemplazar arena cuando las limpiezas sucesivas reducen la profundidad del lecho a unos 60 cm.

En filtros rápidos nuevos el medio debe lavarse, para remover el exceso de finos, antes de ponerlo en operación. Para descartar los finos se procede a un lavado ascensional a la tasa máxima de lavado durante 10 a 15 minutos. Luego se drena el filtro hasta el punto en que se pueda caminar sobre el medio y se remueve manualmente el material fino, raspando los primeros 1,5 - 2,5 cm. de superficie del medio. El lavado y raspado se repiten dos o tres veces hasta que no se observen cantidades significativas de finos al final del lavado. En filtros de medio dual se debe hacer esta operación tanto con la arena como con la antracita.

En filtros rápidos la necesidad de lavado la determinan los siguientes factores:

- Pérdida de carga máxima disponible.
- Fuga de turbiedad a través del filtro.
- Carrera de filtración mayor de 36 a 40 horas-

Sin embargo, la decisión de lavar un filtro no debe basarse solamente en uno de los tres factores, pues ello puede conducir a problema operacionales. La experiencia indica que si el filtro se lava solamente cuando se alcanza la pérdida de carga máxima disponible se puede presentar un incremento grande turbiedad del afluente antes de lavar el filtro. En forma similar, un filtro puede alcanzar la pérdida máxima de carga disponible, sin que haya fugas de turbiedad, pero creando condiciones de presión negativa en el lecho, lo cual no es deseable. Por otra parte, un filtro con agua cruda de muy baja turbiedad

puede operar por períodos muy prolongados hasta 100 horas o más, pero esto tampoco es deseable pues se puede presentar un aumento gradual de material orgánico y de bacterias dentro del lecho filtrante, con generación de sabores y olores en el agua tratada y crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes de los filtros.

En general se considera aceptable una carrera de filtración mayor de 15 horas y menor de 36 a 40 horas con un consumo de agua de lavado del 4% en filtros de arena y del 6% en filtros de lecho dual.

El operador debe tener especial cuidado con la operación de lavado de los filtros con el fin de obtener una limpieza efectiva del medio y evitar los problemas de formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas del medio filtrante.

El problema de la formación de pelotas de barro esta asociado con la aglomeración del flóculo y material no removido durante el lavado. Este material, adherido a los granos del medio filtrante, aumenta de peso y profundizan más dentro del filtro, durante el lavado, taponando las áreas donde se sedimentan y causando tasas de filtración y de lavado desiguales sobre el área filtrante. Cuando el problema es grave se observan grietas en la superficie del lecho, separación del medio cerca de las paredes del filtro y presencia de bolas de barro sobre la superficie.

La observación visual del proceso de lavado y de la superficie del filtro es muy importante. Un lecho en buen estado, con una distribución uniforme de agua de lavado, debe aparecer muy uniforme con el medio moviéndose lateralmente sobre la superficie. La presencia de hervideros violentos de agua indica problemas. Si algunas áreas del filtro clarifican más rápidamente que otras, se puede deducir un distribución no uniforme del agua de lavado. Al



drenar el filtro su superficie debe aparecer uniforme; si hay grietas, bolas de barro o promontorios es porque hay problemas de lavado.

El entrapamiento de aire es un problema causado generalmente por la presencia de presiones negativas en el filtro, especialmente en filtros con pérdidas de carga disponibles para la filtración baja. Cuando un filtro está limpio, existe una pérdida de pequeña en la arena, la grava y el sistema de drenaje, del orden de 15 a 30 cm. A medida que avanza la carrera de filtración, las pérdidas por fricción aumentan considerablemente, la mayor parte de ellas en la superficie de la arena del filtro.

Cuando la pérdida en las capas superiores de arena es mayor que la altura de agua sobre la arena, la columna de agua inferior actúa como un tubo de aspiración y se presenta un vacío parcial. Dicha condición se conoce como carga negativa y cuando es excesiva, permite el escape del aire en solución de agua dentro de la arena. El hecho se conoce como entrapamiento de aire y puede interferir severamente el proceso de filtración. Además, una masa de aire puede, al iniciar el lavado, escapar antes de fluidizarse la superficie de la arena. Este fenómeno permitirá velocidades locales altas del agua de lavado y el desplazamiento de la grava.

Los registros de control de la operación de filtros deben incluir la siguiente información:

- Caudal filtrado.
- Pérdida de carga.
- Duración de la carrera.
- Tasa de lavado.
- Volumen de agua de lavado usada.
- Volumen de agua filtrada.
- Duración de lavado ascensional.
- Duración de lavado superficial.
- Turbiedad del agua afluente.
- Turbiedad del agua filtrada.



Los filtros rápidos a presión, su instalación recibe agua cruda a presión y el efluente del filtro también sale a presión. La caja filtrante descansa sobre soporte, de lechos sucesivos de materiales de granulometría creciente hacia abajo. En la mayoría de los casos, la capa filtrante es única, de arena o antracita.

**Operación normal:**

Determinar la turbiedad y la pérdida de carga en el efluente del filtro cada hora y anotar en el formato de control.

Iniciar la operación de lavado cuando el filtro alcance la pérdida de carga máxima permitida por el sistema o cuando la calidad del agua alcance el límite máximo permitido por las normas (1.0 a 5.0 UT)

**Operación de lavado:**

Cerrar la válvula de entrada de agua al filtro, accionando en el sentido indicado a la posición de cerrado.

Cerrar la válvula de salida del filtro para desconectarlo del resto del sistema.

Abrir la válvula de desagüe para la eliminación del agua de lavado

Abrir lentamente la válvula de entrada de agua de lavado, para iniciar la operación de lavado.

Prolongar la operación, durante el tiempo necesario hasta obtener una turbiedad baja en el efluente del agua de lavado (generalmente menos de 5 minutos y turbiedad menos de 30 UT).

Cerrar lentamente la válvula de entrada de agua de lavado, para dar por concluida la operación.

Anotar la cantidad de agua consumida en la operación, determinada por el registro totalizador del volumen de agua de lavado.

Para el inicio de la operación del filtro, proceder nuevamente a partir del ítem b.

**Parada de filtro:**

Cerrar lentamente la válvula de entrada de agua sedimentada al filtro

Cerrar la válvula de salida del agua filtrada

### 1.5.6 Desinfección

La operación exitosa del proceso de cloración requiere básicamente:

- Suministro adecuado y permanente del agente desinfectante.
- Control eficiente, continuo y exacto de la dosificación.
- Manejo seguro en todo momento del compuesto y de los equipos utilizados para su aplicación.
- Mezcla completa y continua del cloro con toda el agua de tratar.

Desde el desarrollo, en 1912 del primer equipo comercial para la aplicación de cloro gaseoso en aguas de suministro, se han puesto a disposición de los operadores del proceso diferentes tipos de equipos de dosificación y control.

El manejo y mantenimiento de cada instalación de cloración dependerá del equipo utilizado y deberá hacerse de conformidad con los manuales de operación y mantenimiento de cada fabricante. A continuación se incluyen algunas consideraciones generales sobre operación y mantenimiento de cloradotes

**Cuadro 1.3**

**Consideraciones según el tipo de equipo**

<b>TIPOS DE EQUIPO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1. Cloradores de dosificación directa, cloro gaseoso seco.	Se aplica cloro gaseoso seco al agua. Se usa solamente cuando no existe disponibilidad de agua a presión
2. Cloradores de dosificación de cloro gaseoso en solución.	Se aplica una solución de cloro gaseoso en agua al agua bajo tratamiento Se prefieren los cloradores de vacío.
3. Clorador de celda electrolítica.	En general el cloro in situ. Se usa poco.
4. Hipocloradores	Se usan para caudales pequeños o caos de emergencia.

Todo los cloradores deben instalarse para funcionamiento continuo, libres de problemas de operación. El cloro gaseoso se disolverá en el agua para formar soluciones de concentración menor de 3,00 mg/l.

**Cuadro 1.4**

**Consideraciones según el tipo de equipo**

<b>TIPOS DE EQUIPO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1. Manual.	La dosis se ajusta a mano. Adecuado cuando el caudal es relativamente constante.
2. Semiautomático.	La dosificación se inicia o se detiene mediante un instrumento eléctrico o hidráulico.
3. Automático.	Se adjunta automáticamente la dosificación con control de caudal.

La selección del punto de aplicación del cloro debe hacerse con base en:

1. Presión moderada en el punto de cloración.
2. Variación mínima de caudales.
3. Mezcla rápida y homogénea del cloro en el agua.
4. Facilidad de acceso al equipo de cloración para inspección.
5. Riesgo mínimo de perjuicio por los residuales de cloro.
6. Disponibilidad de agua y espacio para almacenamiento de cilindros.
7. Disponibilidad de energía eléctrica.

En la instalación son importantes estos factores:

1. El clorador debe instalarse cerca del punto de aplicación.
2. El clorador debe instalarse en un cuarto independiente, sobre el nivel del terreno.
3. Debe proveerse espacio amplio para trabajo alrededor del clorador, así como espacio para almacenamiento de repuestos.
4. Se requiere agua abundante, con presión mayor de 15 lb/pulg<sup>2</sup>, 103 kPa y tres veces la contrapresión existente, se pueden requerir bombas reforzadas de presión. En general se requiere un mínimo de 150-190 L/d por libra de capacidad del clorador. Fallas en el suministro de agua implican fallas en la cloración.
5. El clorador debe permanecer a temperaturas mayores de 10 °C para evitar taponamiento por hielo y cloro. Los cilindros deben permanecer a temperatura normal y menor que la de las tuberías y el clorador, para prevenir condensación del gas en líquido. La temperatura máxima de almacenamiento de los cilindros es de 60°C.
6. No es recomendable extraer más de 18 kg/d de cloro de un cilindro, por el riesgo de escarcha y pérdida de capacidad de dosificación. Con cilindros de tonelada la tasa máxima de extracción es de 182 kg/d de cloro.
7. Debe existir iluminación apropiada.
8. Debe existir adecuada ventilación para remover fuga eventuales de cloro gaseoso.

9. Debe existir facilidad de manejo de cilindros, sin riesgo para los operadores.
10. Se requiere báscula y facilidad para el control de la dosificación de cloro.
11. La cloración para desinfección debe ser continua y la instalación debe reunir todos los requerimientos apropiados para asegurar el suministro y la dosificación sin interrupción.

Los registros de control de procesos de cloración deben incluir la siguiente información:

- Tipo de compuesto de cloro usado.
- Dosis en mg/L.
- Dosificación diaria en kg/d.
- Resultados de los ensayos de cloro residual.
- Resultados de los ensayos de coniformes.
- Temperatura del agua.
- pH del agua.
- Explicación diaria de cualquier condición particular o problema ocurrido.

La desinfección con cloro es el proceso final del tratamiento. El procedimiento de cloración es un tipo de dosificación química.

La principal actividad de operación en el proceso de desinfección es el control del cloro residual, el cual se debe mantener alrededor de 1 mg/l en la salida del tanque de aguas claras. El método a seguir se explica en la parte de procedimientos de laboratorio (Anexo 1).

Durante la operación de la planta es necesario efectuar análisis de los siguientes parámetros básicos:

Turbiedad  
Color  
pH  
Alcalinidad  
Cloro residual

Además el responsable debe efectuar pruebas de jarras durante la estación Lluviosa, con el fin de actualizar la grafica de dosificación óptima (grafica 1)

- Los parámetros básicos deben medirse cada hora y el cloro residual dos veces al día. Los resultados se anotan en el formulario respectivo.
- Los procedimientos de laboratorio se detallan en el anexo n° 01.
- El control de agua producida en la planta, debe ser efectuado por el laboratorio de control de calidad y consiste en análisis físico-químicos y bacteriológicos completos. El laboratorio debe informar inmediatamente al responsable de la planta en caso de encontrarse parámetros que no cumplan con las normas de calidad vigentes en el país.
- Para la toma de muestras, el laboratorio debe tomar en cuenta los siguientes tiempos de retención.

#### TIEMPOS DE RETENCION TEORICOS (Q=160 l/s)

LUGAR	TIEMPO ACUMULADO(minutos)
Cámara de entrada	0
Salida de sedimentadores	69
Cámara de salida de filtros	88
Entrada a tanques	90

La frecuencia y números de muestras deben ser establecido por el laboratorio de control de calidad.

En caso necesario, el responsable de la planta solicitará muestreos adicionales.

#### DOSIFICACION DE CLORO

Se utilizará hipoclorito de calcio para desinfectar el agua filtrada. El hipoclorito de calcio tiene usualmente una concentración de cloro del 70%.

Procedimiento:

- Llenar el tanque de la sala de cloración hasta la marca establecida
- Agregar el peso de HTH necesario para obtener la concentración deseada. El encargado de la planta debe dar esta información al operador.
- Agitar la solución por lo menos una hora

- Escoger la dosis de cloro, solicitando un ensayo de demanda de cloro al laboratorio de control de calidad al menos una vez por año.
- Conociendo el caudal que ingresa a la planta, la concentración de la solución de cloro y la dosis deseada, se encuentra el caudal de solución (qs) utilizando las tablas del anexo 2.
- Conociendo el qs se encuentra la posición del dosificador en la grafica respectiva (anexo 3)
- Se ajusta el dosificador a la posición deseada por la grafica.

## OPERACIONES ESPECIALES Y DE EMERGENCIA

Las operaciones especiales y de emergencia ocurre cuando por alguna razón la planta no puede producir el caudal de agua de diseño o la calidad del agua tratada no cumple con las normas de calidad vigentes.

Las principales actividades que pueden clasificarse como operación especial son las siguientes:

- a- Limpieza de estructuras mayores (desarenadores, floculadores y sedimentadores) cuando la calidad de agua cruda es deficiente y no permite usar la filtración directa.
- b- Operaciones de mantenimiento correctivo:
  - Sustitución de válvula
  - Reparación de fugas en las estructuras
  - Reparación o sustitución de dosificadores y otros equipos.
- c- Falta de productos químicos
- d- Situaciones de emergencia
  - Terremotos, huracanes, inundaciones, incendios, sequias prolongadas, actos de sabotaje, vandalismo.

El encargado de la planta y las autoridades de la universidad Nacional de Educación respectivas deben establecer los procedimientos correctos para atender situaciones de emergencia.

El mantenimiento es requerido tanto por las obras civiles como por los equipos electromecánicos de la planta. Se recomienda el siguiente contenido para este manual que debe ser elaborado por el encargado de la planta con la ayuda de profesionales de la especialidad respectiva.

- a- Mantenimiento de obras civiles
- b- Mantenimiento de válvulas
- c- Mantenimiento de dosificadores
- d- Mantenimiento de medios filtrantes
- e- Mantenimiento de equipos de bombeo  
y de sistemas eléctricos
- f- Mantenimiento de equipo electrónico de laboratorio



**FOTO 1.4: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIAL**

## 1.6. REGISTRO E INFORMES DE OPERACIÓN

El mantenimiento de un registro de operación de una planta de tratamiento hace parte de las funciones del operador y constituye una ayuda de gran utilidad pues satisface; entre otros, los siguientes objetivos:

- Cumplimiento de requisitos legales
- Ayuda al operador a resolver problemas de tratamiento.
- Permite evaluar cambios en la calidad del agua cruda.



- Permite demostrar la calidad del agua tratada.
- Proporciona soporte para responder las quejas y reclamos de los consumidores.
- Ayuda a establecer los programas de mantenimiento preventivo.
- Permite evaluar los costos de tratamiento.
- Provee parámetros de diseño para futuras plantas de purificación.
- Permite determinar la eficiencia de los diferentes procesos y operaciones de tratamiento.
- Permite formular y establecer programas y requerimiento de optimización de la operación.

## CAPITULO II CORROSIÓN E INCRUSTACIÓN DE POZOS

### INTRODUCCIÓN

Es fácil convencerse de que la maquinaria de elevación de un pozo precisa de unos cuidados de mantenimiento para que su vida sea lo mayor posible y con un rendimiento óptimo y seguro. Aunque sea menos aparente, la propia captación también precisa de unos cuidados sin los cuales su rendimiento e incluso su duración pueden verse seriamente comprometidos. Ocultos a la vista ocurren un gran número de fenómenos cuyo conocimiento es necesario si se quiere explotar con el máximo rendimiento un pozo y alargar su vida, evitando fallos prematuros.

Las causas más importantes de pérdida de eficiencia de un pozo bien construido hay que buscarlas en las variadas facetas de dos fenómenos generales llamados incrustación y corrosión. Sus efectos se traducen en una disminución del caudal específico y/o en una colmatación progresiva de la captación y/o administración de aguas de otros niveles con caracteres indeseables, y en el caso extremo en la destrucción del propio pozo.

La incrustación consiste en una deposición de materiales extraños, bien en filtro o bien en el propio acuífero.

La corrosión consiste en un ataque a los materiales con eliminación superficial o localizada de los mismos o alteración de sus propiedades. En ocasiones, los productos de la corrosión originan una incrustación, si bien el mecanismo íntimo de ambos fenómenos es diferente.

En lo que se sigue se tratará de dar una visión de las variadas facetas de la incrustación y corrosión que afectan más directamente a la explotación de las captaciones de agua con las aclaraciones teóricas precisas para una buena comprensión de fenómeno, razonando el modo de combatirlo o amortiguarlo.

No es posible dar normas concretas para evitar el corregir los defectos de la incrustaciones y corrosiones, ya que son muchos los factores que concurren, pero una adecuada observación de lo que sucede en un pozo o en otros vecinos puede orientar adecuadamente.

En lo que respecta a la agresividad e incrustabilidad de un agua, los iones de la disociación del agua los relacionados con el equilibrio carbónico y las sales alcalinotérreas, juegan un papel muy importante, así debe considerarse el Ph del agua y los contenidos en  $\text{CO}_2$ , disuelto,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{Ca}^{++}$ . Basta resaltar aquí que para mantener el bicarbonato cálcico en disolución debe existir una cierta cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto de equilibrio, lo que un exceso de  $\text{CO}_2$  disuelto de equilibrio o el Ph es menor que el de equilibrio, el agua es agresiva (a la caliza y también puede serlo al metal por un exceso de iones  $\text{H}^+$ ) y si existe un defecto de  $\text{CO}_2$  disuelto o el Ph es mayor que el de equilibrio, el agua es incrustante e incrustará si las condiciones son favorables al depósito de material sobre las superficies sólidas. Los valores mencionados se refieren a la química del agua en contacto con el material que se considere, que puede ser diferente, por cambios de presión, temperatura, etc., de la del agua natural del acuífero.

El Ph de equilibrio ( $\text{Ph}_e$ ) se puede calcular

Un índice experimental de agresividad o incrustabilidad muy interesante es el índice de estabilidad de Ryznar (Ryznar, 1944) que se define como:

$$\text{IER} = 2\text{Ph}_e - \text{Ph}$$

en lo que:

IER = índice de estabilidad de Ryznar

$\text{Ph}_e$  = Ph de equilibrio

Ph = Ph del agua que se considera. Según este índice se tiene:

IER	Carácter del agua
4,0 a 6,0	Muy incrustante
5,0 a 6,0	moderadamente incrustante
6,0 a 7,0	poco incrustante o corrosiva
7,0 a 7,5	corrosiva
7,5 a 9,0	francamente corrosiva
Mayor 9,0	muy corrosiva

El contenido en oxígeno juega también un papel muy importante en la corrosión de los metales por el agua.

### **Mantenimiento de pozos**

El mantenimiento de los pozos se realizan con terceros ya que son empresas especializadas que cuentan con equipos de perforación destinados únicamente para realizar mantenimiento preventivos a los pozos de agua.

Por ser estos equipos de perforación cuentan con todos los elementos y herramientas necesarios para la correcta limpieza y desarrollo de los pozos de agua como la bomba de lodos para la aplicación de químicos con presión en cada zona de los filtros, compresoras para el desalojo de los residuos en el pozo y en general todas las herramientas necesarias para el manipuleo de tuberías y accesorios.

El pozo de agua se debe limpiar y desinfectar para remover incrustaciones y bacterias tanto patógenas como ferrosas que obstruyen las secciones filtrantes del pozo disminuyendo su producción. Estas desinfecciones se deben hacer por lo menos anualmente.

Un buen mantenimiento preventivo y una operación eficiente le ahorran dinero en reposición de equipos y daños por un mantenimiento extemporáneo.



**FOTO 2.0**  
**BATERIA DE POZO**

### **Cloración de pozos**

La cloración del agua que se extrae de los pozos profundos, se realiza por medio de bombas dosificadoras de hipoclorito de sodio.

La cloración en el punto inicial de la fuente de abastecimiento es de 1.5 Mg/lit de cloro total para cumplir con la norma , que recomienda mantener una cloración de 0,2 a 1,5 Mg/lit cloro residual.

Para que el abastecimiento no se interrumpa por falla en el sistema de dosificadoras de hipoclorito, la alternativa es el tratamiento con cloro de manera manual (hipoclorito de calcio al 60%) en los tanques de almacenamiento. Una tableta es para 1000 lit y se puede agregar de 2 a 3 veces al día según el informe de laboratorio.

Los pozos solamente paran por fallas en el equipo, fugas en la tubería o mantenimiento.

Las bombas cuentan con manómetros de presión, estos manómetros se encuentran en el tren de descarga, e indica la presión que esta mandando el equipo y de acuerdo a tablas y gráficos que viene con el equipo se determina el caudal enviado.



**FOTO 2.1**

### **TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS DE POZO**

#### **Limpieza, mantención y rehabilitación de pozos profundos**

Previo al estudio de las condiciones hidráulicas y físicas del terreno y un testeo y análisis químico bacteriológico, se realiza un estudio de construcción, pruebas de bombeo y la factibilidad de las capaz de efectuar la rehabilitación. Para una mantención se evaluarán las condiciones de la cañería y la bomba sumergible.

Se realiza un monitoreo con una cámara de video para registrar el estado del pozo. Se reinstala la bomba y se efectúan las pruebas de bombeo.





FOTO 2.2:

### MANTENIMIENTO DE POZOS

#### Filmaciones subterráneas

Las filmaciones al interior del pozo están programadas para verificar las condiciones del pozo, la calidad de las paredes, y las condiciones de la entubación, para ello contamos con una cámara sumergible a color con un monitor y grabadora para entregar al cliente una copia de en video de las condiciones del pozo



FOTO 2.3:

### FILMACIONES DE POZOS

#### 2.1. INCRUSTACIONES EN LAS CAPTACIONES DE AGUA

La incrustación es la deposición de materiales más o menos adherentes en diversas partes de las captaciones de agua.

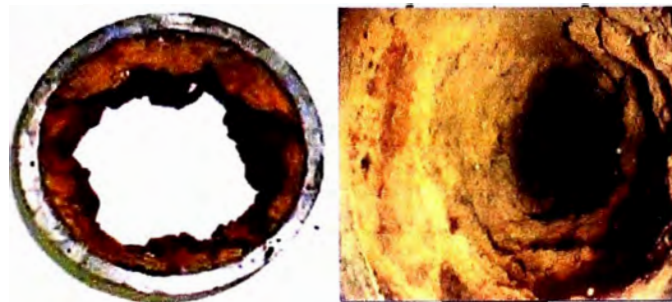
Estas incrustaciones pueden ser duras y frágiles, actuando muchas veces al modo de un cemento (por ejemplo, formación de carbonatos) y otras veces se trata de lodos y rellenos pastosos o gelatinosos (por ejemplo, óxidos de hierro o colonias de bacterias).

Normalmente la presencia de incrustaciones en un pozo va ligada a un descenso en los caudales específicos (caudal obtenido por metro de descenso del nivel de agua). Las incrustaciones pueden afectar a:

- 1) Zona filtrante de los pozos reduciendo la superficie efectiva de entrada del agua.
- 2) Propio acuífero, rellenando sus poros y disminuyendo por lo tanto la permeabilidad en una zona más o menos grande, alrededor del pozo.
- 3) Tuberías, disminuyendo la sección. Si se producen sobre la propia pared del pozo no afectan en principio a la explotación del pozo (pueden molestar o impedir el montaje y desmontaje de la bomba), pero si lo hacen en la tubería de impulsión, aumentan las pérdidas de carga del bombeo.

La posible producción de materiales no adherentes que se sedimentan dentro del pozo es un proceso muy poco importante, si es que llega a aparecer

FOTO 2.4



Formación de carbonatos    Colonias bacterianas

## 2.2 TIPOS DE INCRUSTACIONES

La incrustación mas frecuente está formada por carbonato cálcico. Su origen hay que buscarlo generalmente en una pérdida de anhídrido carbónico por el agua. Las aguas subterráneas están generalmente saturadas en carbonato cálcico, que se mantienen en disolución gracias a la presencia de cierta



cantidad de anhídrido carbónico disuelto. La cantidad de este anhídrido carbónico disuelto depende de la proporción del mismo en el aire en contacto con el agua y de la temperatura. Como las aguas al infiltrarse lo hacen a través de terrenos no saturados que con frecuencia tienen contenidos en anhídrido carbónico muy superiores al de la atmósfera (hasta 20 veces mayor), tienen oportunidad de disolver cantidades notables de carbonato. Al quedar esta agua a presiones menores que las que tenían en el terreno o al entrar en contacto con la atmósfera pierden anhídrido carbónico con la consiguiente sobresaturación en carbonatos. Si las condiciones son propicias, el exceso de carbonato cálcico –menos el carbonato magnésico que es más soluble - se puede precipitar en forma de pequeños aglomerados fangosos o depositarse en capas duras y estratificadas sobre las superficies sólidas, produciéndose incrustaciones. Un aumento de la temperatura es un factor importante en las conducciones (mucho menos en los pozos) y lleva también a una sobresaturación en carbonatos con las consiguientes posibilidad de incrustaciones. La mezcla de aguas diferentes, puestas en contacto por pozos que atraviesan varios acuíferos, puede ser también origen de incrustaciones.

No es raro que las aguas lleven cantidades notables de hierro (algunas partes por millón en ion ferroso), generalmente asociado a ambientes geoquímicas reductores, y este hierro puede precipitarse por oxidación al tomar contacto con el aire, perder anhídrido carbónico o variar la velocidad del agua. Puede precipitarse óxido de hierro hidratado (lo más frecuentemente férrico, pero a veces puede ser ferroso formando un fango negro) o más fácilmente hidróxido férrico (marrón rojizo) o ferroso (incolore), más o menos pastosos o gelatinosos y en ocasiones muy voluminosos. Este precipitado voluminoso ocupa los poros y reduce considerablemente la permeabilidad y en ocasiones puede pasar desapercibido en las muestras de terreno, ya que fácilmente se destruye su tenue trama. Igual comportamiento tiene el manganeso disuelto, dando óxido negro o marrón oscuro, o un gel de  $Mn(OH)_4$  pero normalmente no crea problemas graves por estar en poca cantidad. En ocasiones el hierro puede provenir de la corrosión del tubo del pozo y precipitarse después en

otro unto o incluso "insitu", dando origen a la simultaneidad de corrosión e incrustación.

Las bacterias del hierro, principalmente las de los géneros Gallionella, Crenothrix y Leptothrix, pueden dar precipitados voluminosos de compuestos férricos a partir del ion ferroso, los cuales reducen drásticamente la permeabilidad, además de atrapar otras partículas insolubles. Las condiciones más favorables para su desarrollo son (Mogg, 1972):

- a) Aguas freáticas aerobias, principalmente a poca profundidad bajo el nivel del agua.
- b) Aguas subterráneas relativamente frías, menos de 18,5°C. No se desarrollan por encima de 24°C.
- c) Aguas con elevado contenido de hierro (más de 1 ppm en Fe) y manganeso.
- d) Aguas poco salinas, con residuo seco menor de 1000 ppm. Nos e desarrollan en aguas salinas o con elevados contenidos en sulfatos.

Salvo en casos excepcionales de aguas muy sulfatadas, no es normal encontrar incrustaciones de yeso en los pozos, puesto que su solubilidad es elevada y aunque disminuye al aumentar la temperatura, no son de esperar cambios importantes de ésta en los pozos. La situación es más favorable a la precipitación en tuberías, en especial en usos de refrigeración.

Las incrustaciones duras de sílice tampoco son frecuentes, puesto que los cambios de temperatura en el pozo son muy pequeños, aunque pueden producirse con ciertas aguas sobresaturadas, o aparecer como silicatos atrapados en incrustaciones carbonatadas. En los análisis de incrustaciones, normalmente gran parte de la sílice que se encuentra está atrapada en otras incrustaciones y no es de precipitación química.

En resumen, puede decirse que en la mayoría de los casos las incrustaciones son de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  y más raramente de  $\text{CO}_3\text{Mg}$  y de  $\text{CO}_3\text{Mn}$  u otros compuestos de manganeso.

En un pozo que bombea a un ritmo de 100 m<sup>3</sup>/h, la disminución de la dureza del agua en sólo una parte por millón debido al paso por la rejilla, supone la precipitación de 2,4 kg diarios de carbonato cálcico. Afortunadamente sólo parte de este carbonato se precipita sobre la rejilla, pero una parte considerable puede hacerlo en zonas próximas o en el sistema de bombeo.

La incrustación puede llegar a colmatar totalmente la rejilla en sus inmediaciones, hasta algunos cm. de espesor, y parcialmente hasta varios dm.

### 2.3 IMPORTANCIA DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS

La composición química del agua a extraer es muy importante, y un análisis químico bien hecho puede ayudar notablemente a localizar la causa de las incrustaciones observadas o a predecir su posibilidad. Para que sea de utilidad debe contener por lo menos el pH, la conductividad o residuo seco, la dureza total y permanente, la alcalinidad, el anhídrido carbónico disuelto y el hierro, siendo deseable conocer el oxígeno disuelto, calcio y manganeso.

También es conveniente determinar además los cloruros, sulfatos, nitratos y sodio. Hay que tener precauciones para *que el agua sea representativa del agua del acuífero*, tomándola a ser posible mediante un bombeo prolongado y en una botella llena totalmente y bien cerrada y efectuando el análisis lo antes posible. Es importante medir la temperatura del agua y debe evitarse que en el transporte se caliente la muestra. En aguas sulfhídricas debe determinarse también el ácido sulfhídrico principalmente con vistas a la corrosividad (en agua fría 0,5 partes por millón o menos ya son apreciadas por el olfato). Si el análisis no se puede realizar rápidamente, por lo menos conviene medir al tomar la muestra el pH, la alcalinidad y el CO<sub>2</sub> disuelto, y si es posible el oxígeno disuelto.

En el apartado de este capítulo ya se ha comentado sobre la incrustabilidad del agua y se ha introducido el índice de estabilidad de Ryznar. A título de

primera orientación se puede decir que las aguas duras (por ejemplo con más de 300 ppm en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y notablemente bicarbonatadas (por ejemplo, alcalinidad mayor de 250 ppm en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) hacen en la posibilidad de incrustaciones carbonatadas. Las aguas con pH superior a 7,5 suelen ser incrustantes. Algunas unidades de parte por millón de hierro disuelto permiten augurar problemas de precipitación de hierro en alguna forma.

También contenidos en manganeso superiores a 1 ppm en especial con pH alto y ambiente oxidante, suelen dar incrustaciones. En las aguas en las que viven bacterias sulfato-reductoras (presencia de  $\text{SH}_2$ ) no aparecen bacterias del hierro.

Sin embargo, no es posible dar reglas precisas para decidir si un agua será o no incrustante, ya que la composición química, si bien muy importante, no es el único factor a considerar, sino también las características del pozo y su régimen de explotación. En general, las aguas subterráneas y en especial las que proceden de terrenos calcáreos, tienden a precipitar carbonatos, pero el que efectivamente lo hagan y la forma de incrustación a que den lugar depende además de la velocidad del agua en el pozo, en la zona filtrante del pozo, del descenso, de la aireación del pozo, etc.

## 2.4 LA INCRUSTACIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y DE FUNCIONAMIENTO DE LOS POZOS

Las características constructivas de un pozo pueden afectar a la posibilidad de incrustación. En general, pozos poco eficientes o sea con notables pérdidas de carga en el paso del agua por la zona filtrante, y los mal desarrollados suelen incrustarse con mayor rapidez que pozos más eficientes que bombeen caudales similares. La mayor velocidad de entrada del agua, la mayor turbulencia y el mayor descenso, facilitan el desprendimiento del anhídrido carbónico, sobresaturándose el agua en carbonatos en sus alrededores. También la mayor aireación facilita la precipitación del hierro. Si

el pozo se explota con descensos que dejan parte de la zona filtrante en seco, en esa parte pueden aparecer incrustaciones con cierta facilidad y tanto más cuanto más frecuentes sean los paros y arranques de la bomba. Al ponerse en marcha la bomba, parte del tubo y a veces también de la zona filtrante (muy frecuente en pozos que explotan acuíferos freáticos) quedan en seco y el agua que los humedece se evapora precipitando pequeños cristallitos de carbonato cálcico (parece ser además que el hierro favorece la precipitación y tanto más cuanto más rugosa es su superficie). Al pararse el pozo vuelven a ser cubiertos por el agua, que si está en contacto más o menos fácil con la atmósfera, pierde anhídrido carbónico, se sobresatura de carbonatos y los cristallitos antes depositados actúan de núcleos de cristalización, creciendo en ocasiones rápidamente el depósito. Las sucesivas fases de aireación facilitan también la precipitación del hierro. En otras ocasiones, la misma secuencia de hechos es origen de zonas preferentes de corrosión, tal como se verá mas adelante.

El caudal de explotación condiciona el descenso producido y también la velocidad de paso del agua por la formación acuífera y por la rejilla. A mayor la rejilla. A mayor velocidad mayores posibilidades de corrosión y también de incrustación.

Es recomendable no rebasar valores de la velocidad de flujo del orden de la mitad de los que se calcularían con las fórmulas dadas . Los técnicos. Aconsejan no rebasar la velocidad de 4 cm./seg. en el en el paso por la rejilla, a fin de minimizar el efecto de incrustación y corrosión.

Para seguir el comportamiento de un pozo, ver si se producen incrustaciones y decidir cuándo y cómo debe efectuarse un tratamiento de desincrustación, es preciso observarlo, al igual que se hace con toda máquina, y un buen método es llevar una ficha de observaciones.

Es muy importante conocer periódicamente los descensos específicos (caudal obtenido dividido por el descenso del nivel del agua), los descensos totales

del nivel del agua, los caudales bombeados, la potencia consumida y el régimen de bombeo (duración de los bombeos y de los paros). Si el caudal específico disminuye puede ser síntoma claro de incrustación o taponamiento en la zona filtrante. Un primer síntoma de incrustación es el aumento del consumo de energía de la bomba, sin que aumente el caudal extraído, previa comprobación de que la bomba funciona bien.

Es también importante disponer de análisis químicos del agua bombeada una o dos veces al año, no sólo para ver si el agua es de caracteres incrustantes, sino también para conocer si la calidad del agua evoluciona en alguna forma.

Al construirse el pozo se puede tener aguas de buena calidad y al cabo de algunos años esta calidad puede haberse degradado por múltiples causas; un único análisis es poco indicativo.

Conviene dejar un acceso en los pozos entubados por el que se puede medir el nivel del agua en el pozo. Si bien la medida de cerrar herméticamente el pozo es adecuada desde el punto de vista de protección sanitaria, no excluye el dejar el orificio para medir niveles, que puede estar convenientemente protegido e incluso pueden instalarse medidores de nivel permanentes de tipo manométrico, que son baratos, y que permiten el cierre hermético con la posibilidad de medir la profundidad del agua.

La importancia de la observación de un pozo depende de su coste y de la importancia de tener un funcionamiento asegurado. En pozos profundos (caros) y para grandes caudales en continuo, en que el consumo de energía debe ser lo menor posible, es muy importante su control periódico. En pozos temporales de uso esporádico puede no tener gran importancia.

No es preciso insistir en que las observaciones que se hagan deben ser correctamente interpretadas. Una disminución de niveles dinámicos puede ser debida no sólo a la presencia de incrustaciones, sino también a la presencia

de nuevos bombeos próximos a un descenso general de los niveles; bastará observar los niveles estáticos para ver lo que sucede. Los caudales pueden disminuir y puede ser debido a la incrustación en el pozo (disminuye también el descenso dinámico), pero también puede ser debido a un simple desgaste de la bomba o a un aumento de la pérdida de carga en la tubería de impulsión por varias causas entre la que pueden figurar su propia incrustación.

## 2.5 COMO EVITAR LAS INCRUSTACIONES EN LOS POZOS

Es difícil o imposible evitar totalmente las incrustaciones ya que estas dependen en gran manera de la facilidad del agua para producirlas, pero se pueden tratar de reducirlas con pozos convenientemente proyectados y con un plan de funcionamiento adecuado, a ser posible en continuo, lo cual es también bueno para la bomba.

Tal como se ha expuesto, las elevadas velocidades de paso por la zona filtrante y los descensos grandes, facilitan las incrustaciones por variación de los gases disueltos en el agua. Por ello conviene elegir rejillas con la mayor área de paso de agua posible y desarrollar bien el pozo.

Los pozos completos (que atraviesan todo el acuífero) y con zonas filtrantes adecuadas tienen menos problemas de incrustaciones que los incompletos y con zonas filtrantes rudimentarias.

No conviene forzar los pozos con bombeos que dejen en seco parte de la zona filtrante, puesto que se agravan los problemas de incrustaciones en el tramo afectado por las variaciones de nivel, y también las corrosiones.

Conviene trabajar con descensos pequeños y puede ser ventajoso, desde el punto de vista de evitar incrustaciones, preferir varios pozos de explotación a uno sólo funcionando con mayores descensos.

Al parecer, el material de la rejilla influye poco en la posibilidad de incrustación. Quizás las superficies rugosas o herrumbrosas facilitan la



adherencia de los incrustantes; ellos podría explicar la creencia de que los plásticos se incrustan menos al ser más lisos y presentar menos adherencia. Ello no quiere decir que no se puedan incrustar, y de hecho materiales como el cloruro de polivinilo, la fibra de vidrio con recubrimiento de resina epoxi, etc., con el tiempo llegan a incrustarse. Si la incrustación es un efecto derivado de la corrosión de otras partes, esos materiales están exentos de aquella.

En lo que respecta a los precipitados de hierro, puede pensarse que si el ambiente en el acuífero es bactericida natural o artificialmente, el problema de depósitos de lodos no aparece. Tal sucede en aguas reductoras y también en pozos con rejillas de aleaciones de Cu, ya que el cobre es un bactericida, siempre y cuando sean pozos de pequeño caudal y de funcionamiento de unas pocas horas al día, para permitir que el cobre alcance suficiente concentración y acción en el agua.

La adición de ciertos complejantes del hierro al agua que circula hacia el pozo, utilizando una corona de sondeos que lo rodeen, puede ser efectivo al evitar la precipitación en el acuífero, pero es un procedimiento complicado y caro. La adición de cloro en un sistema similar parece muy poco efectiva (Mogg, 1972).

Para evitar los precipitados de hierro por la acción del oxígeno procedente del exterior, conviene trabajar con la rejilla siempre sumergida, y cuando ello no es posible, evitar que el aire que lleva el pozo no se renueve o lo haga con dificultad.

## **2.6 DESINCRUSTACIÓN DE LOS POZOS**

### **2.6.1 Aspectos generales**

Cuando no es posible evitar las incrustaciones, se debe proceder a eliminar éstas periódicamente.



La desincrustación de pozos debe efectuarse cuando se empieza a notar una disminución clara en los caudales específicos. No es posible dar valores concretos puesto que el momento de desincrustar depende de la mayor o menor dificultad para poner fuera de servicio unos días un pozo en cierta época, el coto del proceso de desincrustación, etc. Sin embargo, no conviene dejar que la incrustación progrese mucho, ya que entonces puede dificultarse ésta, e incluso hacerla inefectiva.

La repetición de los ensayos de bombeo escalonados puede orientar sobre la importancia de las incrustaciones y quizás aplicar los criterios de Walton , aunque conviene tener datos de referencia de la región y del acuífero.

En pozo en que la incrustación ha progresado mucho, puede suceder que en el desincrustado químico se formen caminos preferentes de paso del agente desincrustante y por lo tanto sin alteración del resto de la incrustación. Por ello no conviene dejar que la incrustación progrese excesivamente.

El tratamiento a utilizar puede ser de tipo químico o de tipo mecánico, o un tratamiento mixto. Los tratamientos de tipo mecánico, tales como descargas de aire comprimido o el pistoneo en general no son del todo efectivos. Los tratamientos químicos, introduciendo en el pozo y acuífero próximo un agresivo químico que disuelva la incrustación, son un buen método; si se combinan con algún método mecánico, tal como el pistoneo o el chorro horizontal, se puede aumentar considerablemente la festividad de la operación.

Para la elección del método de desincrustación es importante conocer el tipo de incrustación y como afecta ésta al pozo. Si es posible, conviene tener muestras de la incrustación para ver que tipo es, cuanto ha progresado y qué procedimiento de tratamiento es el más adecuado. La observación de pozos vecinos puede ayudar mucho e incluso a veces pueden obtenerse muestra se incrustaciones. También pueden buscarse muestras e incrustaciones en las

paredes de la bomba o de los tubos de impulsión que, aunque no tienen por qué ser iguales a las del acuífero y zona filtrante del pozo, son en general suficientemente orientativas.

La desincrustación debe encargarse a una empresa experimentada, ya que es un proceso que requiere destreza y no está exento de peligros de accidentes.

Cuando sean de presumir incrustaciones, conviene elegir un tipo de rejilla adecuado y resistente al método de desincrustación a emplear. Si se emplea ácido clorhídrico como desincrustante, los materiales más resistentes son los plásticos y fibra de vidrio siguiendo en orden de mayor a menor resistencia los aceros inoxidable (tipo 316 y 304). Everdur y bronce rojo, y los menos resistentes son el acero dulce y el hormigón.

## 2.6.2 Tipos de agentes químicos para desincrustar

### 1) Acidificación

Para incrustaciones carbonatadas, principalmente para la formadas por carbonato cálcico, da buenos resultados el tratamiento con ácidos. Entre los diversos ácidos posibles, el más utilizado es el ácido clorhídrico con un inhibidor de corrosión de metales, pro ejemplo de gelatina, en la proporción de 5 a 10 kg de gelatina disuelta en agua caliente por cada 1000 kg de ácido concentrado. El ácido clorhídrico (industrialmente también denominado ácido muriático) debe emplearse concentrado del orden del 25 al 30% y en cantidad de 1,5 a 2 veces el volumen de agua de la zona filtrante del pozo. También disuelve, al menos en parte, el hierro precipitado, pero la solución sólo es estable mientras el pH sea bajo (menor de 3) y si se precipita puede dar origen a óxidos difícilmente solubles después. La estabilización con sal de Rochelle (tartrato sodicopotásico) no es del todo satisfactoria, y es mejor el empleo de ácido cítrico u otros compuestos especiales.

Modernamente está tomando un gran auge el empleo del ácido sulfámico (ácido aminosulfónico,  $\text{SO}_3\text{H}\text{NH}_2$ ) que aunque algo más caro que el ácido

clorhídrico, presenta notables ventajas, entre las que figura el ser sólido en estado puro (muy fácil de transportar y mucho menos peligroso de manejo) y es muy fácilmente soluble en agua, dando soluciones marcadamente ácidas. Con sólo un 0,5% en peso se consigue un pH de 1,4, con un 3% un pY de 0,8, con un 5,5% un pH de 0,6 y con un 10% un pH de 0,45. La solubilidad es un 2% en peso a temperatura de 18°C y conviene emplearlo casi próximo a saturación. El ácido sulfámico, al actuar sobre los carbonatos, da sulfamato cálcico que es muy soluble. Es menos agresivo para el tubo de pozo y no afecta a las rejillas de acero inoxidable ni a las bronce rojo con silicio. Al acero ordinario lo ataca con suficiente lentitud y su acción se puede pasivar con tiourea. Su acción es algo lenta que la del ácido clorhídrico por lo que se precisa un tiempo de contacto algo mayor. El ácido sulfámico puede añadirse previamente disuelto o sólido, disolviéndolo por agitación en el pozo, pudiéndose en este último caso añadir un exceso para mantener la acidez.

El ácido más usual en la industria, el ácido sulfúrico, no es adecuado para desincrustar carbonatos, puesto que forma sulfato de calcio (yeso) que es poco soluble y se queda en el medio poroso o adherido a la zona filtrante.

En el tratamiento con ácido conviene a veces añadir un agente mojante para favorecer el contacto entre el ácido y el medio, que debe ser estable en el ácido, no espumante y no iónico. Casas especializadas pueden ofrecer varios tipos de estos agentes con diversos nombres comerciales. Estos mojanteres son necesarios con el ácido sulfámico, ya que de por sí sólo disuelven lentamente la incrustaciones de hierro.

La acidificación es sólo parcialmente efectiva con incrustaciones de hierro muy poco efectiva con incrustaciones de sílice o de silicatos aluminicos.

## 2) Cloración

La cloración consiste en añadir cloro activo al agua de los pozos. Este cloro activo puede añadirse como cloro gas disuelto previamente en agua o directamente, pero es más fácil y seguro hacerlo como hipoclorito sódico en

estado puro o disuelto en agua. También puede emplearse dióxido de cloro. El ácido hipoxiacético, empleado a veces como sustitutivo, parece ser muy poco efectivo.

Los ácidos matan las bacterias, pero no eliminan correctamente el limo orgánico asociado, mientras que el cloro activo oxida esos limos destruyéndolos. Para una acción adecuada se precisan concentraciones de cloro se precisan concentraciones de cloro activo sobre las incrustaciones de más de 300 partes por millón (el hipoclorito cálcico tiene un 70% de cloro activo) Estas soluciones son corrosivas y cuando se emplean muy concentradas no deben actuar directamente sobre las partes activas del pozo (rejillas, bombas, tubos) hasta que se hayan diluido al menos a 500 ppm en cloro activo.

Según experiencias realizadas por Grainage y Lund (1969), con 300 ppm de  $\text{Cl}_2$  se consigue destruir las bacterias del hierro si el tiempo de contacto alcanza 18 horas. Los mejores resultados se obtienen cuando el tratamiento con cloro activo va precedido de una acidificación.

Para que la cloración sea efectiva conviene repetir el tratamiento 3 a 4 veces. La Cloración en ausencia de materia orgánica oxidable es un tratamiento casi inefectivo.

### **3) Tratamiento con polifosfatos**

Los polifosfatos, en cualquiera de las variadas formas que se encuentran en el mercado, son agentes tesoactivos similares a los detergentes, pero no espumantes. Su acción es la de dispersar las aglomeraciones de partículas, si media simultáneamente una fuerte agitación. El líquido a inyectarse se prepara suspendiendo en un tanque de agua un armazón metálico conteniendo el superfosfato. Suelen utilizarse unos 15 a 35 kg por m<sup>3</sup> de agua en el pozo, con 1 kg de hipoclorito cálcico por m<sup>3</sup> de agua en el pozo para dar una cierta acción oxidante y ayudar a la destrucción y dispersión de los

limos orgánicos. Se pueden precisar 2 o más tratamientos con una duración de 24 horas por tratamiento.

El tratamiento con polifosfato junto con cloración es un método efectivo para la eliminación de ciertas incrustaciones de hierro de carácter voluminoso.

### **2.6.3 Modos de aplicación de los métodos de desincrustación**

Para introducir el reactivo en el pozo basta emplear un tubo de plástico o de fundición gris de 20 ó 30 mm de diámetro que llegue hasta la zona filtrante y verter por él dicho reactivo. No conviene usar tubos galvanizados, ya que son rápidamente destruidos por los ácidos. Si la zona filtrante es larga, para distribuir bien el reactivo conviene añadirlo por etapas, variando la penetración del tubo para repartir el reactivo uniformemente. Para ello se introduce la tubería de vertido hasta quedar su extremo inferior unos 30 cm sobre el fondo de la rejilla, y se añade un volumen de reactivo equivalente al volumen existente dentro de 2 a 3 m de rejilla, a veces añadiendo después un poco de agua para forzar un poco la penetración en el acuífero. Después de elevar el tubo de vertido unos 2 m se repite la operación, y así sucesivamente hasta cubrir toda la zona a desincrustar.

Conviene agitar para uniformar la mezcla. Para que el reactivo penetre a través de las aberturas de la rejilla y actúe sobre el medio poroso, conviene añadir agua al pozo o dar presión (la presión de los gases despididos en la acidificación puede ser a veces suficiente si el pozo está cerrado). La forma de tratamiento varía ligeramente si se trata de desincrustar la rejilla o bien el acuífero alrededor del pozo, pues hay que dar diferente penetración al reactivo. Si la agitación producida por el desprendimiento de gases no es suficiente, puede ayudarse haciendo borbotear aire comprimido dentro del pozo.

Cuando conviene hacer penetrar el reactivo en el acuífero, deben emplearse métodos similares a los del desarrollo de pozos, principalmente

pistoneo; si está la bomba instalada y no se espera que se produzcan daños en la misma por corrosión y no existe válvulas de pie, pueden emplearse el bombeo intermitente. Para el tratamiento con polifosfatos el método del chorro horizontal de alta velocidad es muy eficaz; se inyecta sólo agua, la cual arrastra al reactivo ya colocado en el pozo, que ya colocado en el pozo, que puede ser proyectado contra las aberturas de la rejilla, uniendo así a la acción química una cierta acción mecánica localizada. El chorro horizontal añade agua al pozo (del orden de 1,5 a 7 l/seg) y por lo tanto diluye y dispersa el reactivo. Es técnica usual el bombear simultáneamente un caudal ligeramente superior al inyectado, caudal que sirve para ser reinyectado de nuevo si no es demasiado agresivo. Las rejillas con aberturas que se ensanchan hacia el interior, aparte de evitar la obturación por partículas del suelo, favorecen la acción del chorro por concentrarlo.

Una vez efectuado el tratamiento, es preciso limpiar el pozo y zonas próximas para extraer los restos de reactivos y los productos de reacción; puede realizarse con una cuchara de máquina de perforación a percusión o con una bomba de las empleadas para desarrollar pozos y resistentes al reactivo utilizado. El bombeo puede hacerse intermitente para ayudar al arrastre de finos y lodos resultantes del ataque. El bombeo con aire comprimido es en ocasiones aconsejable por ser mínimos los problemas de corrosión y de arrastre de finos. Es preciso bombear hasta que el agua no tenga ya cantidades apreciables de reactivos, y el agua bombeada debe verterse de modo que no cree problemas.

Cuando se desprenden gases (anhídrido carbónico, gas sulfhídrico, hidrógeno, cloro) y el pozo está encerrado en una caseta, conviene ventilarla bien para evitar accidentes personales. El  $\text{SH}_2$  y el  $\text{CO}_2$  tienden a ocupar las zonas bajas de las casetas por ser más densos que el aire.

Si el tratamiento no ha sido suficiente efectivo, conviene repetirlo, prolongando el período de agitación. Algunas veces, el tratamiento con ácido

clorhídrico es ineficaz por operarse a temperaturas demasiado bajas. La experiencia demuestra que la velocidad de disolución de casi todos los depósitos incrustantes aumenta con la temperatura. Por esta razón, siempre que se observe que no pueden obtenerse resultados positivos trabajando a la temperatura ambiente, conviene tratar de mantener el ácido a la temperatura elevada, mediante el uso de calentadores eléctricos de inmersión, colocados en el pozo o en un tanque de recirculación externo.

Durante el tratamiento de un pozo con ácido clorhídrico, como la dilución es bastante apreciable, no es probable que el ácido penetre en la formación acuífera más que algunos metros con la suficiente concentración como para constituir peligro. Es aconsejable, sin embargo, que mientras se realiza tal operación, no se bombeen otros pozos situados a menos de 50 ó 100 m del anterior.

El ácido clorhídrico puede ocasionar quemaduras profundas en la piel y sus vapores pueden provocar náuseas y dolores de cabeza. Es aconsejable usar guantes de goma y gafas de protección. Cuando se trabaja en un espacio cerrado, debe cuidarse de su completa ventilación. Las proyecciones de ácido sobre la piel o la ropa pueden neutralizarse con carbonato sódico, el cual debe estar disponible.

A título de ejemplo se da la siguiente secuencia de operaciones aplicables al tratamiento de desincrustación con ácido clorhídrico.

1. Llenar la rejilla con ácido.
2. Dejar reaccionar el ácido en el pozo durante 30 minutos.
3. Pistonear o cucharear lentamente, a fin de agitar el ácido durante 5 a 10 minutos.
4. Dejar reaccionar el ácido durante 15 minutos.
5. Agitar el ácido durante 5 o 10 minutos.
6. Permitir que el ácido reaccione 30 minutos.
7. Agitar el ácido durante 5 a 10 minutos.



8. Dejar el ácido reaccionar durante 15 minutos.
9. Proceder al pistoneo del pozo actuando primero en la parte inferior de la rejilla, después en la parte media y finalmente en la parte superior.
10. Extraer con la cuchara la arena o cualquier otro material que se haya acumulado en el pozo.
11. Repetir el pistoneo.
12. Instalar la bomba y bombear el pozo intensamente, por lo menos durante dos horas, hasta la completa eliminación de los residuos de ácido, los cuales se pueden detectar con papel de tornasol (papel de pH).

En lo que respecta al ácido sulfámico, se introduce en el pozo en forma de solución de la forma ya descrita, pero también puede introducirse directamente se forma sólida granulada; en este último caso, la cantidad de ácido sulfámico debe ser calculada según el volumen de agua contenida en el pozo y no solamente en la rejilla, teniendo en cuenta el exceso necesario para mantener la acidez a medida que se vaya disolviendo las incrustaciones.

El ácido sulfa cristalizado no ataca la piel seca y su solución no produce vapores, excepto cuando reacciona con los materiales incrustantes. Si el producto se encuentra en estado sólido, puede ser almacenado, transportado y manipulado sin precauciones especiales.

En lo que se refiere a la cloración, no es necesario retirar la bomba del pozo durante el tratamiento, pero la extremidad inferior del tubo de plástico, que se utilice para introducir la solución de cloro, debe ser colocada de manera que dicha solución penetre directamente bajo el agua, para no atacar el metal de la bomba, de la tubería o de la rejilla. Es necesario forzar la disolución hacia dentro de la formación acuífera, adicionando un considerable volumen de agua, normalmente de 50 a 100 veces el volumen contenido en el pozo. La operación debe repetirse hasta 3 o 4 veces, a fin de obtener la mayor eliminación de incrustantes orgánicos.



Una operación de limpieza con polifosfatos puede realizarse según la siguiente secuencia:

1. Dejar la disolución en el pozo durante 24 horas.
2. Pistonear durante 2 horas.
3. Dejar la disolución en reposo durante 8 horas.
4. Pistonear durante 2 horas.
5. Extraer el material que se haya acumulado en el rejilla.
6. Instalar la bomba y bombear el pozo intensamente.

#### **2.6.4 Desincrustación de pozos no revestidos**

En pozos excavados en roca consolidada también se presentan problemas de incrustación. Es frecuente que el agua circule por fisuras que se incrustan sólo en las inmediaciones del pozo (uno o dos centímetros). Los métodos de desincrustación pueden ser los indicados, si bien las acciones de los reactivos con más lentas y difíciles, y en general el chorro horizontal es mucho menos efectivo. En muchos casos, lo mejor puede ser un nuevo desarrollo con explosivos, y después acidificación. La acidificación a presión hasta lograr brusco aumento de admisión puede ser un buen método.

### **MANTENIMIENTO DE POZOS**

Este proceso se inicia con el desmontaje de la bomba y su traslado al taller para su evaluación y/o reparación. Luego, con la toma de un video de diagnóstico, se observa el estado del pozo y se determina el tipo de mantenimiento a realizar.

Para eliminar incrustaciones presentes en el pozo, **se** realiza tratamientos químicos, los cuales pueden ser de acidificación, cloración o dispersión de arcillas, de acuerdo a los tipos de incrustaciones encontradas.

Para dar solución a problemas como roturas, aplastamientos o deformaciones lleva a cabo 2 procesos: "Encamisado" de pozos en la zona del daño con tubería de menor diámetro a la de revestimiento, o instalación de un "parche" a presión en la

zona de rotura empleando la **Parchadora Hidráulica**, operada por personal calificado. Posterior a la reparación de la bomba, realiza su montaje y el aforo del pozo.

En la zona filtrante de los pozos. Como consecuencia de la incrustación se produce una reducción de la superficie efectiva de entrada de agua.



Tuberías. Disminuyen la sección. Si se producen sobre la propia pared del pozo, en principio no afectan a la explotación de la misma (pueden molestar o impedir el montaje y desmontaje de la bomba), pero si lo hacen en la tubería de impulsión, aumentan las pérdidas de carga del bombeo.



## 2.7 CORROSIÓN

### 2.7.1 Generalidades sobre la corrosión

La corrosión es un conjunto de fenómenos que conducen a una destrucción de la superficie de material corroído por su disgregación o puesta en solución. La corrosión en los pozos puede acarrear su destrucción prematura o, al menos, al paro más o menos prolongando para reponer las partes corroídas.

Son varios los aspectos de la corrosión, aunque no todos se presentan con igual importancia en los pozos. En lo que sigue se tratará de explicar aquellos

fenómenos que pueden informar de las principales causas de destrucción de pozos por corrosión.

Aunque la corrosión es un fenómeno esencialmente diferente de la incrustación, pueden coexistir, tal como ya se ha indicado, pudiendo ser causa de incrustación los productos de corrosión. El hierro disuelto en un punto puede precipitarse en otro originando una incrustación. La corrosión puede evitar la incrustación, haciendo que ésta no se adhiera y también los productos de incrustación pueden formar una barrera contra la corrosión, que en ocasiones puede ser deseable si aquélla es moderada.

La corrosión es un fenómeno dinámico dependiendo su velocidad de las características del medio agresivo (acidez, potencial redox, conductividad, etc.) del tipo de productos resultantes de la corrosión (solubles o insolubles, continuos e impermeables o discontinuos y permeables), de la velocidad de circulación del medio agresivo respecto al material agredido (a mayor velocidad mayor renovación del medio agresor, mayor eliminación de productos de la agresión y posibilidad de acciones mecánicas de erosión con eliminación de posibles películas protectoras), de la formación de películas o depósitos protectores, de la presencia de fenómenos electrolíticos (circulación de corriente eléctrica, formación de pilas locales o generales), de la temperatura (a mayor temperatura, mayor corrosión), etc.

En gran parte de casos la corrosión puede reducirse a un fenómeno de tipo electroquímico, como se verá enseguida.

### **2.7.2 Oxidación**

Expuesta al aire, la superficie de un metal se transforma, por adición de oxígeno, en un óxido de características diferentes a las del metal. Si el óxido es adherente al metal y forma una superficie continua sin grietas, la continuación de la oxidación se dificulta, pues la difusión del oxígeno se ve

frenada y puede incluso cesar, teniéndose entonces una autoprotección del metal. No siempre se produce esta autoprotección, puesto que para ello se precisa que el óxido se adherente, para lo cual debe tener una estructura cristalina adecuada y además es necesario que la densidad del óxido sea mayor que la del metal, pues de lo contrario quedaría en tensión y por su baja resistencia se rompería en tensión por su baja resistencia se rompería.

Tampoco conviene que la densidad sea mucho mayor pues si la compresión es muy fuerte, se producen imbricaciones que en definitiva equivalen a un agrietamiento. Todo lo expuesto es válido siempre y cuando el proceso sea simplemente una difusión del oxígeno, sin medio iónico (agua líquida) y entonces se habla propiamente de una oxidación. En general los metales expuestos al aire seco se autoprotegen más o menos rápidamente. Cuando actúa el agua el fenómeno de ataque se llama corrosión y es cuando pueden entrar en acción los fenómenos electroquímicos.

### 2.7.3 La disolución de los metales

Si un metal se introduce en agua, tiende a disolverse cediendo iones metálicos con carga eléctrica positiva, quedando el propio metal negativo. Si el agua contiene iones de ese metal, éstos tienden a depositarse sobre el metal, creándose así un equilibrio cuando la concentración de iones del metal alcanza cierto valor característico. Existen metales que tienen gran tendencia a disolverse (por ejemplo el zinc) no alcanzándose el equilibrio más que con soluciones muy concentradas de sus iones, mientras otros (por ejemplo el cobre) alcanzan el equilibrio con sólo mínimas concentraciones de sus iones y así, por ejemplo, si se introduce una barra de cobre en una solución de sulfato de cobre, existe una deposición de metal sobre la barra. Al hablar de la corrosión electroquímica se dará una tabla de electronegatividades que definen estas tendencias. Este fenómeno es de interés pues puede explicar la corrosión general del tubo de hierro de los pozos por aguas muy pobres en hierro y no oxidantes.

Si se introduce una barra de hierro en una solución de sulfato de cobre, como el hierro tiene más tendencias a disolverse que el cobre, el cobre se deposita sobre el hierro y cuando forma una capa continua cesa la disolución del hierro. Similarmente si se introduce zinc en un medio ácido (rico en iones  $H^+$  de igual carácter que los iones metálicos) tiende a depositarse hidrógeno sobre el zinc que se disuelve, pero ese hidrógeno se adhiere al metal y dificulta la continuación del ataque. Si el hidrógeno es adherente y forma una película puede cesar el ataque, pero si es eliminado, el ataque prosigue (desprendimiento en forma de burbujas por aparecer en gran cantidad o por agitación y especialmente por destrucción por oxidantes). El hidrógeno es tanto más adherente cuando más lisa es la superficie.

La acción despolarizante del oxígeno (eliminación del hidrógeno formado) es muy importante y favorece mucho la corrosión.

Al disolverse un metal formando iones, estos pueden reaccionar con los iones oxhidritos ( $OH^-$ ) que contiene el agua y dar lugar a la formación de hidróxidos muy poco solubles, que si se depositan de forma adherente y continua sobre el metal pueden sumarse a la acción del hidrógeno autoprotegiéndose contra la corrosión. El aluminio se autoprotege bien, mientras el hierro no, por ser su hidróxido,  $Fe(OH)_2$ , permeable. Ciertos agentes químicos pueden favorecer el ataque destruyendo la película protectora, mientras otros –inhibidores- la protegen.

#### 2.7.4 Fenómenos electrolíticos

Supóngase una cuba con agua hecha conductora por tener sales disueltas (por ejemplo cloruro sódico  $ClNa$ ). Si se introducen dos barras metálicas conectadas respectivamente al polo positivo y al polo negativo de un generador de corriente continua se crea un campo eléctrico que pone en

movimiento los iones. Los iones positivos (cationes) viajan hacia el polo negativo (ánodo) donde, después de neutralizar su carga, pueden reaccionar con el agua creando una zona oxidante en la que puede desprenderse oxígeno. El metal que hace de cátodo, está protegido de la corrosión por el hidrógeno, mientras que el que hace de ánodo se oxida rápidamente, dependiendo la velocidad de oxidación de la facilidad de eliminar la capa de óxido. El hidrógeno desprendido y adherido al cátodo dificulta el paso de la corriente (polarización) de manera que de modo indirecto disminuye la velocidad de oxidación del ánodo, el cual a su vez puede autoprotgerse con la formación de una película de óxido o hidróxido.

Así, en toda corrosión juegan fenómenos catódicos (polarización) y anódicos (formación de películas de hidróxido y óxido protectoras) y generalmente dominando al principio los fenómenos catódicos y al final los anódicos.

Si en otra cuba se introducen dos metales diferentes unidos (por ejemplo, mediante un hilo conductor), uno se carga positivamente (ánodo) y el otro negativamente (cátodo), repitiéndose los fenómenos antes descritos, manteniéndose la corriente eléctrica por la unión gracias a la corrosión del ánodo metálico. El conjunto constituye una pila galvánica, en que los fenómenos de corrosión y por lo tanto el paso de corriente, puede verse disminuido por la polarización que origina el desprendimiento de hidrógeno en el cátodo, o la autoprotección del ánodo.

Siempre que se ponen en contacto dos metales distintos en el seno de un electrolito (líquido conductor de la electricidad por sales disueltas) se forma una pila galvánica. Qué metal constituye el ánodo y cuál el cátodo, depende de lo que se llama electronegatividad. Es una ordenación de los metales más usuales, en orden de menor a mayor electronegatividad, según su comportamiento en medios acuosos con el pH poco diferente de 7 y no excesivamente salino.

Si se unen dos metales, el más próximo al extremo superior de la tabla es el ánodo (corroible) y el más próximo al extremo inferior el cátodo (protegido).

Los fenómenos electrolíticos pueden también aparecer a causa de cambios en la concentración de oxígeno en el agua (la zona menos aireada es el ánodo, o sea que se corroe, y suele corresponder a la porción un poco por debajo del nivel del agua en un pozo), variaciones en la composición del metal, esfuerzos mecánicos concentrados, etc.

TABLA 2,1 Tabla de electronegatividades

---

*Mínima electronegatividad. Corrosión*

Magnesio  
Aleaciones de magnesio  
Zinc  
Aluminio  
Cadmio  
Aluminio resistente a la corrosión  
Hierro, acero y fundición  
Ferrocromo (activo)  
Acero inoxidable cromo-níquel 18-8 (activo)  
Acero inoxidable cromo-níquel-molibdeno 18-8-3 (activo)  
Soldaduras de plomo, estaño o sus aleaciones  
Plomo  
*Potencial de referencia de hidrógeno*  
Estaño  
Níquel (activo)  
Inconel (activo)      Cobre  
Latón  
Bronce  
Monel  
Solduras de plata  
Níquel (pasivo)  
Inconel (pasivo)  
Feroicro (pasivo)  
Acero inoxidable cromo-níquel 18-8 (pasivo)  
Acero inoxidable cromo-níquel-molibdeno 18-8-3 (pasivo)  
Plata  
Oro  
Platino

Máxima electronegatividad. Mínima corrosión. Protección

---



### 2.7.5 Autoprotección y pasivado

Sobre un metal que se corroe puede depositarse un hidróxido. Si el metal actúa como ánodo, el hidróxido es transformado en óxido. Si el óxido o hidróxido, según el caso, es adherente, continuo e impermeable, cesa la corrosión y se dice que el metal se ha autoprotegido. Con ciertos metales tales como el níquel, cromo, titanio y cadmio, basta con la formación de una película invisible de óxido para que se autoprotejan y en este caso se habla de pasivado. Los metales que se pasivan pueden transmitir esta propiedad con mayor o menor intensidad a sus aleaciones.

Ciertos metales que no se autoprotegen, aleados y tratados térmicamente de forma adecuada pueden autoprotgerse como el acero inoxidable al cromo-níquel (18% de Cr, 8% de Ni). Un inoxidable puede ser un metal muy electronegativo (metal noble), pero también puede ser un metal o aleación cuya superficie oxidada le protege. Cualquier causa que destruya este óxido protector (altas temperaturas, erosión mecánica, impurezas, etc.), elimina el carácter de inoxidable. Un metal pasivo en un medio puede ser activo en otro medio que impida la acción de autoprotección, y cambia su posición en la tabla de electronegatividades.

## 2.8 LA CORROSION DE LOS POZOS

### 2.8.1 Causas de corrosión

La corrosión es un fenómeno muy complejo, que puede producirse bajo variadísimas condiciones. Pueden contribuir a la corrosión agentes como el aire, el suelo, los ácidos, las temperaturas elevadas, los compuestos orgánicos, los compuestos de azufre o los álcalis.

La velocidad de corrosión depende de los siguientes factores: acidez de las de las soluciones, presencia o ausencia de agentes oxidantes, conductividad eléctrica del medio agresivo, movimiento de las soluciones respecto al



material agredido, formación de películas o depósitos protectores, aparición de fenómenos electrolíticos, etc.

La observación sistemática de los distintos tipos de ataque corrosivo que pueden afectar a las estructuras metálicas de los pozos muestra que la mayoría de los procesos de corrosión son debido a los fenómenos electrolíticos, siendo esencial el modo de contacto del agua con los metales.

Además de la corrosión electroquímica en sus diferentes facetas, cabe considerar la corrosión bacteriana, la corrosión química general y la corrosión selectiva.

### **2.8.2 Corrosión General**

La corrosión general y otras causas de pérdida uniforme de metal es un fenómeno por el cual el espesor de material se va reduciendo paulatinamente, ya sea porque el medio disuelve ese óxido.

En las zonas de menor espesor pueden producirse perforaciones. El pozo pierde resistencia y las aberturas de la rejilla rehacen mayores, con lo que pueden penetrar partículas del medio poroso, colmatando el pozo o dañando la bomba.

La pérdida de material por ataque uniforme, se mide en  $\text{g/m}^2$  hora. Un material que muestra una pérdida de peso de menos de  $0,1 \text{ g/m}^2$  hora, puede ser clasificado como resistente. Metales con pérdidas de peso mayores que  $10 \text{ g/m}^2$  horas se consideran muy corroibles. Conociendo la velocidad de pérdida de peso (ensayos de laboratorio) se puede calcular la disminución de espesor anual del tubo del pozo por corrosión uniforme para proyectarlo correctamente.

### 2.8.3 Corrosión intergranular y fisurante

Es la corrosión de ciertos componentes o impurezas de un metal precipitados en los bordes de grano, tal como el nitruro de hierro y las impurezas de los aceros. Ello lleva a la disgregación del metal. Las tensiones provocadas por la precipitación del cementita en los bordes de grano ayudan. El ion cloruro es capaz de efectuar una acción de este tipo en los aceros inoxidable ordinarios, los cuales no son adecuados para aguas muy salinas. La pureza de los materiales es importante.

### 2.8.4 Corrosión selectiva

Es la disolución preferente de uno de los componentes de una aleación dejando el metal restante debilitado y poroso. Este fenómeno se puede observar en los latones, donde puede disolverse el zinc, dejando el cobre poroso y poco resistente. El metal que se disuelve es menos noble (menos electronegativo), y en el caso de citado es el zinc. Los latones con poco zinc son más resistentes (bronce rojo con silicio, por ejemplo). Para resistencia a la corrosión son mucho mejores la aleaciones con un único constituyente ya que no se producen pares metálicos entre los granos (ver apartado siguiente) pero el fenómeno descrito afecta aún a las aleaciones de un solo constituyente (latones con menos de 37% de zinc).

### 2.8.5 Corrosión bimetálica

Es el tipo de corrosión que se presenta cuando están en contacto dos metales diferentes, tal como sucede en juntas, soldaduras, etc. Así, al unir dos tubos de hierro con un maguito de latón, el hierro es corroído en las proximidades del latón. Este tipo de corrosión puede aparecer en pozos cuando se emplea una rejilla diferentes calidades, cuando la bomba toca al tubo y son de metales diferentes, en las juntas con brida en que los tornillos

son de otro material (basta con que sea de un acero diferente), en las soldaduras con metal de aporte e incluso sin él, bastando por ejemplo una descarburación local, etc. En aleaciones de dos o más constituyentes la corrosión bimetalica puede ser muy grave.

### **2.8.6 Corrosión alveolar o picado**

Es un fenómeno muy local pero de muy graves consecuencias y es debido a que la superficie de un metal puede presentar diferencias en potencial eléctrico por pequeñas variaciones de composición o de acabado de superficie o de dureza, impurezas, etc., y se agrava con la presencia de aguas muy cloruradas. Ello origina pilas galvánicas muy localizadas en las que la porción anódica es la atacada. Si no hay autoprotección la corrosión va eliminando material pudiendo llegar a perforar. En los alrededores de la zona de corrosión, si el agua tiene suficiente oxígeno, puede depositarse el resultado de la corrosión, formando una incrustación local a modo de tubérculo. Si el depósito se realiza encima de la picadura, se dificulta, junto con la polarización que da el hidrógeno formando, el progreso de la corrosión e incluso puede pararse si no aparecen acciones en sentido contrario, que rompan la protección tales como una erosión mecánica o la disolución química. Así, un tubo poco a poco se va pasivando. Si a causa de una severa corrosión es preciso reemplazar una porción de un tubo enterrado, el nuevo tramo forma pares metálicos con las acumulaciones de óxido de la porción vieja, de modo que el nuevo metal actúa a modo de ánodo y se corroe más rápidamente de lo que hizo el tubo al cual sustituye y además el tubo viejo se autoprotege de sus expensas.

## **2.9 CÓMO PROTEGERSE CONTRA LA CORROSIÓN**

Las muy variadas formas en que se produce la corrosión hace que muchas veces sea imposible suprimirla totalmente, pero existen algunas

acciones preventivas que permiten atenuar sus efectos y alargar la vida de la captación, limitando al mismo tiempo la posibilidad de depósitos voluminosos de óxido e hidróxidos en las áreas catódicas, que pueden colmatar la rejilla.

Las acciones a tomar son de dos tipos:

- a) controlar los agentes de corrosión
- b) seleccionar materiales o recubrimientos resistentes a la corrosión.

También pueden adoptarse las dos acciones simultáneamente.

### **2.9.1 Mejorar de las condiciones de funcionamiento del pozo**

Un adecuado proyecto, desarrollo y explotación del pozo son factores importantes en su resistencia a la corrosión, al igual que en lo referente a la incrustación.

Por un lado, la velocidad del agua a través de las ranuras de una rejilla influye en la intensidad de la corrosión, como consecuencia de su efecto sobre los factores implicados en este fenómeno. Si dicha velocidad es baja, se evitan los ataques locales y concentrados, al mismo tiempo que la corrosión tiende a uniformarse y es menos peligrosa porque se realiza en superficies más extensas. Por el contrario, las velocidades altas pueden destruir las películas protectoras que se forman sobre la superficie metálica, intensificando la corrosión. Por ello es recomendable utilizar rejillas con la mayor superficie abierta posible.

Por otro lado, conviene que la rejilla no quede sometida a mojados y secados periódicos, puesto que en esa zona la acción oxidante es muy intensa.

En el caso de que se produzca corrosión por bacterias sulfato-reductoras, pueden realizarse tratamientos de esterilización con cloro libre, soluciones de hipoclorito o soluciones de sulfato de cobre. Cualquier tratamiento de esterilización, para ser efectivo, debe aplicarse durante las operaciones de

perforación del pozo, así como también periódicamente a lo largo de la vida del mismo para asegurarse su protección continua.

El cloro y el hipoclorito tiene la desventaja de oxidar el ion ferroso que el agua pueda contener, dando origen a la formación de compuestos férrico insolubles que intensifiquen posibles problemas de incrustación. El sulfato de cobre no tiene poder de oxidación, pero presenta tendencia a formar una película de cobre sobre las superficies metálicas, y como esta película normalmente no es uniforme, pueden formarse pilas electrolíticas localizadas

### **2.9.2 Aislamientos eléctrico durante la construcción del pozo**

Como los metales de la entubación y de la rejilla son normalmente diferentes, su contacto origina fenómenos de corrosión electroquímica.

Una manera de disminuir la intensidad de dicha corrosión consiste en aumentar la resistencia óhmica entre los dos metales. Esto puede conseguirse interponiendo un aislamiento de goma o de materia plástica entre la rejilla y la entubación.

De todos modos, a una distancia equivalente a unas 3 veces el diámetro de tubo, el ritmo de corrosión es ya muy pequeño y por ello, para proteger la rejilla, se recomienda prolongar ésta en sus extremos con tuberías del mismo material con el que esté construida, de modo que en caso de no poder realizar un buen aislamiento, la corrosión no actúe sobre la zona más delicada.

En muchos casos reales, el contacto bimetálico entre rejilla y entubado está más o menos impedido por óxidos o por grasas, lo cual da cierto grado de protección.

En algunos casos, la unión se hace con o a través de un tubo de fibra de vidrio, lo que evita el problema de corrosión bimetálica.

### 2.9.3 Protección con revestimientos

Los metales pueden protegerse contra la corrosión aislándolos del medio ambiente con recubrimientos no atacables. El procedimiento más conocido es la pintura y el esmaltado, pero para pozos son poco adecuados por ser frágiles y precisar de un mantenimiento. Los recubrimientos con betún, caucho clorado o plásticos se emplean para proteger las rejillas y tubos, si las condiciones erosión no van a ser muy duras, pero existe el inconveniente de que es casi imposible asegurar una distribución uniforme de la película plástica, y además, cualquier pro o grieta en aquella es una vía clara para la corrosión, los cuales pueden producirse muy fácilmente durante la instalación y explotación de la rejilla o elemento revestido.

Otro procedimiento es el de recubrir el metal con otro metal que se autoproteja. Tal es el galvanizado que consiste en recubrir el tubo de hierro con una lámina de zinc. Si se produce una ruptura en el recubrimiento de zinc, la corrosión actúa sobre éste (menos noble que el hierro), que actúa como metal de sacrificio. Entonces el zinc se corroe rápidamente y cuando se ha consumido empieza la corrosión del hierro. En aguas ácidas, no es aconsejable el acero galvanizado. Además, el hierro o acero galvanizado puede crear problemas al tratar de desincrustar con ácido un pozo, ya que puede destruirse rápidamente el recubrimiento. Es frecuente dar recubrimiento de zinc por inmersión entre 300 y 600 g/m<sup>2</sup>, con el valor más frecuente alrededor de 500 g/m<sup>2</sup>.

Este proceso sería bastante eficaz contra la corrosión química, pues es fácil conseguir una distribución uniforme y una adherencia perfecta de la lámina de zinc sobre el metal. Sin embargo, al manipular la rejilla o tubería es fácil producir roturas en el revestimiento de zinc.

En general, la técnica de revestimientos protectores se considera ineficaz, a no ser que sea utilizada conjuntamente con la protección catódica.

## 2.94 protección catódica

Una solución para proteger tuberías enterradas es colocar a lo largo de ella bloques de magnesio o zinc unidos con un cable conductor a la tubería. Así la tubería se protege por hacer de cátodo y el magnesio o zinc de ánodo o metal de sacrificio, que debe ser repuesto antes de que se consuma. El pequeño voltaje que se desarrolla entre el magnesio y el acero (aproximadamente 0,7 voltios), requiere una conexión a través de un alambre de muy baja resistencia eléctrica; la distancia puede ser de 60 a 100 m y se suele utilizar un conductor de plomo.

Otra forma de conseguir el mismo efecto es conectar el polo negativo de un generador de corriente continua al pozo y el positivo a un bloque de grafito (ánodo) enterrado a unos 100 m del pozo. El principal problema es el de conseguir una distribución uniforme de la corriente en el pozo; ello puede lograrse con un ánodo en forma de alambre centrado dentro de la rejilla y de la tubería. De todos modos, las zonas más profundas del pozo quedan insuficientemente protegidas porque hay una disminución de voltaje a lo largo del ánodo. Este método es poco económico debido al precio elevado de los ánodos de metal no corrosible (platino o titanio).

Una protección catódica adecuadamente planteada requiere, en cualquier caso, la intervención de especialistas que determinen las dimensiones de los ánodos, su número, su posición en el terreno o en el interior de la tubería o rejilla a proteger, etc., además de que el pozo tenga unas características constructivas apropiadas que evite las juntas de elevada resistencia eléctrica. Ninguna de esas formas de protección catódica se utiliza normalmente en pozos, aunque en ocasiones los resultados han sido satisfactorios.

### 2.9.5 Empleo de materiales resistentes a la corrosión

Lo más cómodo y sencillo es utilizar para el tubo del pozo acero de buena calidad, de adecuada pureza y suficiente espesor (si se perfora



accidentalmente puede ponerse una camisa del mismo material si las dimensiones de la bomba lo permiten) utilizar para la parte más delicada, la rejilla, un material resistente a la corrosión, si se espera que ésta afecte sensiblemente. Si se van a efectuar tratamientos de desincrustación, se deberá tener en cuenta en la selección del material.

Por otra parte, no se debe tampoco olvidar que en la elección del metal de una rejilla ha de tenerse en consideración no sólo la calidad del agua, sino también los requerimientos de resistencia mecánica de la rejilla, y esta resistencia mecánica es proporcional al módulo de elasticidad del metal empleado. Así por ejemplo, una rejilla de acero inoxidable, cuyo módulo de elasticidad es de  $210 \text{ ton/cm}^2$ , es aproximadamente dos veces más resistente que otra fabricada con una aleación de cobre, cuyo módulo de elasticidad sea de  $150 \text{ ton/cm}^2$ . Los materiales con elevado módulo elástico son algo más propensos a corrosiones.

Ryznar da unas orientaciones para la selección del metal de la rejilla de un pozo según el índice de estabilidad de Ryznar.

Aparte del acero al carbono (0,08 a 15% en carbono, 0,2 a 0,5% en Mn), fácilmente atacable en aguas poco equilibradas, los materiales más utilizados actualmente, si su precio lo justifica en razón de la mayor vida y seguridad del pozo, son:

a) Acero inoxidable al cromo-níquel 18-8 (tipo 304) con un 18% de cromo, 8% de níquel, 72% de hierro y menos del 0,80% de carbono (para dar soldabilidad), es resistente a la corrosión aún en presencia de medios notablemente oxidantes, si no hay erosión que elimine la película protectora, pero algo menos frente agua del mar, debido a la corrosión intergranular que origina el ion cloruro. La calidad mejora al reducir el contenido en carbono, lo cual facilita además las operaciones de soldadura.

Se comporta bien en aguas con elevado contenido  $\text{CO}_2$  y  $\text{SH}_2$  pero no con ácido sulfúrico ni con aguas cloruradas, en especial si contienen  $\text{SH}^2$ . Aunque la presencia del hierro disuelto puede ser nociva para muchos aceros inoxidables, no afecta al tipo 304

b) Acero inoxidable tipo 316 contiene además molibdeno, lo que confiere mayor resistencia a la corrosión por aguas cloruradas marinas, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, aún a temperatura elevada. Si el contenido en carbono es muy bajo la resistencia se ve muy incrementada, aún con aguas cloruradas con sulfuros.

c) Bronce rojo al silicio-manganeso (everdur), que contiene un 96% de cobre, 3% de silicio (para dar resistencia a la corrosión y soldabilidad) y 1% de manganeso (para dar alta resistencia) y con sólo trazas de zinc. Es un excelente material en ambientes que no sean demasiado oxidantes y aún con agua marina. Es resistente a los tratamientos ácidos, pero en agua marina. Es resistente a los tratamientos ácidos, pero en aguas con ácido sulfhídrico se corroe lentamente, y con cierta rapidez en aguas con un gran exceso de  $\text{CO}_2$ . Es más caro que el cobre puro, pero es más resistente.

Tabla 2.2 Orientaciones para seleccionar el metal de la rejilla de un pozo según la agresividad y corrosividad del agua, definida por el índice de Ryznar (1944). Según Mogg (1972)

Material	Índice de Ryznar del agua
Acero de bajo contenido en carbono	7,0 a 8,0
Hierro Armco	6,5 a 8,0
Bronce rojo al silicio	6,0 a 8,5
Bronce everdur (al Si-Mn)	menor 9,0
Superníquel	menor 9,0
Monel 400	menor 9,5
Acero inoxidable 304	menor 12,0
Acero inoxidable 304 con poco carbono	menor 15,0
Acero inoxidable 316	menor 15,0
Acero inoxidable 316 con poco carbono	menor 18,0

d) Metal Monel (Monel 404 contienen 65% de níquel y 35% de cobre con pequeñas cantidades de carbono, hierro, manganeso y sílice) es un excelente material, pero mucho más caro que otros. Su módulo de elasticidad es elevado ( $1,8 - 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> en comparación con  $2,1 - 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> para el acero inoxidable 304). Su empleo está indicado en medios muy corrosivos (con ácido, sulfuros y cloruros) y oxidantes. Su precio es elevado.

e) Superníquel, que contiene 70% de cobre y 30% de níquel. Es menos resistente a la corrosión que el metal monel.

f) Actualmente se emplean también filtros de sustancias plásticas, tales como el polietileno duro o cloruro de polivinilo puro (PVC), de menor resistencia mecánica que los metálicos, pero muy resistentes a la corrosión y más baratos. Para mejorar la resistencia mecánica es frecuente disponer de rejillas de acero con un recubrimiento grueso de plástico. También los alemanes preconizan el empleo de filtros de madera tratadas con aguas muy agresivas. En otros casos se han empleado rejillas y tubos de filtro de vidrio con resina epoxi, aunque parece algo frágil.

En casos especiales, de gran agresión, como por ejemplo en pozos de vertido de agua residuales de la industria química, deben buscarse materiales especiales seleccionados por personas expertas.

### **2.9.6 Precauciones complementarias**

En la lucha contra la corrosión deben tomarse precauciones para evitar las corrosiones locales y los pares metálicos, usando metales y aleaciones de un solo componente con un mínimo de impurezas, superficies limpias, soldaduras correctas y separadores en los contactos de dos metales diferentes. Los metales a emplear deben elegirse de acuerdo con la agresividad del medio y el carácter químico del agua a explotar (hacer ensayos si es preciso), efectuar un montaje adecuado de la bomba (evitar golpes y vibraciones, aislar el sistema de la bomba del tubo para evitar que se forme una pila galvánica por ser de metales diferentes) y tener tomas de tierra

correctas en los transformadores y línea eléctricas próximas. En general se recomiendan velocidades del paso del agua por la zona filtrante del orden de 3 cm/seg. La falta de verticalidad de los pozos, puede ocasionar problemas de colocación de la bomba desde el punto de vista de corrosión.

En la porción del tubo expuesta permanentemente al aire, no son de temer en general en general corrosiones graves. En la zona en contacto con suelos agresivos, donde pueden producirse ataques, puede protegerse el tubo con revestimientos adecuados. La porción del tubo sometida a secado y mojado alternativo puede ser especialmente apta para incrustaciones o corrosiones. A veces se procede en pozo en que el máximo descenso del nivel del agua nunca deje en seco zona filtrante, a añadir aceite al pozo, que flota sobre el agua y en la oscilación de ésta engrasa las paredes interiores del pozo.

Conviene considerar que el propio sistema de bombeo debe estar convenientemente diseñado. Por ejemplo en el caso de bomba sumergida y con motor en cabecera, se crean pilas galvánicas entre el eje de transmisión y el tubo de impulsión y se pueden crear serias corrosiones del tubo en las proximidades de los cojinetes guía y sobre todo en las proximidades del motor. Conviene emplear aislamientos adecuados en esas zonas.

### **2.9.7 Los ensayos de corrosión**

Es posible ensayar en laboratorios, en condiciones aceleradas, la corrosión de los metales en los medios reales a los que estarán sometidos. Aunque no es posible reconstruir todas las circunstancias reales que concurrirán en la corrosión, si pueden dar una aproximación razonable y pueden ser orientativos para el adecuado proyecto de un pozo cuando se prevean condiciones de corrosión anormales.

Para ver si un pozo está sometido a corrosión, basta medir si existen diferencias entre las diversas partes. Otro modo sería parar el pozo durante

24 horas y tomar una muestra de la primera agua que sale al comienzo del bombeo. Si el contenido en hierro se ha incrementado notablemente, es que existe corrosión.

Una forma muy útil de analizar la velocidad de las corrosiones y su carácter es obtener muestras de las partes corridas, ya sean del propio pozo o de pozos vecinos, y analizarlas con detalle.

## 2.10 PROTECCION SANITARIA Y ABANDONO DE POZOS

### 2.10.1 Necesidad de Protección Sanitaria

Cuando el agua subterránea procedente de pozos se destina al consumo humano hay que tomar precauciones para evitar su contaminación y obtenerla en adecuadas condiciones físicas, químicas y biológicas.

El agua extraída de pozos de captación puede estar contaminada como consecuencia de negligencia del hombre. Los agentes de contaminación pueden ser las aguas y productos residuales procedentes de la actividad industrial o doméstica. También la manipulación del material de sondeo, del lodo de perforación en su caso de los materiales que han de quedar instalados en el pozo (entubados, rejillas, bombas, etc.) puede ser causa de introducción de contaminantes.

La contaminación superficial puede penetrar en los pozos, tanto a través del espacio anular exterior al revestimiento como por el circular exterior al revestimiento como por el circular interior al mismo.

Por ello, la adecuada protección sanitaria de un pozo debe incluir toda las fases de su proyecto, construcción y explotación, al objeto de prevenir la introducción de contaminantes, tanto en el propio pozo de bombeo como en la formación acuífera de donde proviene el agua. Así, por ejemplo habrá que

seleccionar cuidadosamente el lugar donde se ubicara el pozo, teniendo en consideración el emplazamiento de letrinas, fosas sépticas, corrales, alcantarillas, etc., estudiando también los posibles efectos contaminantes de aguas residuales industriales.

Las medidas necesarias de protección varían con las condiciones físicas del ambiente y con las formaciones geológicas. Sin embargo, existen prácticas contractivas corrientes, que permiten obtener una instalación con buenas condiciones sanitarias.

A continuación se exponen algunos métodos recomendables para la construcción y acabado de los pozos, así como para neutralizar la posible contaminación bacteriana de las aguas.

### **2.10.2 Agentes y métodos de desinfección**

Una vez terminada la construcción del pozo y la instalación de sus accesorios es esencial proceder a su completa desinfección, a pesar de que lamentablemente esta práctica se olvida con frecuencia.

El primer procedimiento es hacer una limpieza preliminar en el pozo, lavando a continuación el revestimiento interior con un cepillo duro, si es preciso con el auxilio de álcalis, para eliminar el aceite, la grasa o el compuesto para juntas. El método más corriente y eficaz de desinfectar un pozo es utilizar una solución concentrada de cloro activo, disolviendo en el agua hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio o cloro libre.

El hipoclorito de calcio es el compuesto clorado más comúnmente utilizado en la desinfección de pozos. Puede adquirirse en forma granular o de pequeñas tabletas con contenido de un 70% aproximadamente de cloro libre equivalente en peso. Este producto químico es bastante estable en estado seco y puede retener hasta un 90% de su contenido original de cloro después de

permanecer un año almacenado. En contacto con la humedad, el hipoclorito de calcio se hace bastante corrosivo y pierde el cloro rápidamente. Debe mantenerse, por consiguiente, en ambiente seco y fresco.

Al mezclar el hipoclorito de calcio con el agua contenida en el pozo conviene alcanzar una concentración de 50 a 200 mg/l (normalmente 100 mg/l) de cloro activo en el agua.

Para preparar una solución de cloro se mezcla el hipoclorito de calcio con un poco de agua hasta formar una pasta fina y a continuación se añade más agua hasta completar una cierta cantidad que es función de la concentración de cloro que se desee en la solución. Seguidamente se agita la mezcla durante 10 a 15 minutos antes de dejarla en reposo por algún tiempo y por último se decanta el líquido más claro.

Las disoluciones de cloro deben prepararse preferentemente en envases de vidrio o de fibrocemento. Los envases metálicos no son aconsejables porque son fácilmente corroídos

En pozos de pequeños diámetro puede introducirse la solución esterilizante mediante un tubo o manguera de goma o de plástico. Una vez agregada la cantidad de solución desinfectante necesaria para el tratamiento del agua contenida en el pozo, ésta debe ser agitada para asegurar su distribución uniforme.

En pozos profundos con nivel hidrostático alto, es preferible colocar una adecuada cantidad de hipoclorito de calcio granular en un recipiente tubular perforado, cerrado por los extremos, y moverlo arriba y abajo en el pozo utilizando un cable con un lastre. De este modo, el hipoclorito se distribuye homogéneamente por toda la columna de agua.

Este método puede ser utilizado también para desinfectar pozos surgentes si a las 24 horas de su terminación, el análisis bacteriológico revela



contaminación. Puede utilizarse un dispositivo para restringir el flujo de agua en la parte superior del pozo, parcial o totalmente, y así reducir las pérdidas de cloro durante el tratamiento.

Una vez terminado el período de desinfección, deberá bombearse el pozo de forma continua hasta eliminar los residuos de cloro. La efectividad de la desinfección puede comprobarse, después de terminadas estas operaciones, mediante el análisis bacteriológico de muestras de agua.

Si no se dispone de hipoclorito de calcio, puede utilizarse el hipoclorito sódico. Este producto sólo existe en forma líquida y puede ser adquirido en concentraciones de hasta 20% de cloro activo. La forma más común es la lejía comercial, conteniendo un 5% de cloro disponible

Las soluciones desinfectantes también se pueden preparar haciendo borbotear gas cloro en el agua. El cloro se disuelve en el agua con la formación de una mezcla de ácidos hipocloroso y clorhídrico. La reducción del pH del agua hace aumentar el efecto esterilizante de la solución. Puede prepararse una solución de una concentración determinada de cloro, por ejemplo 200 ppm ó 300 ppm colocando el cilindro que contiene el gas cloro sobre una balanza cerca de un recipiente de agua y se conecta con éste de forma que el cloro pueda borbotear dentro del agua. Como es posible medir la pérdida de gas en peso, y puesto que se conoce la cantidad de agua en el recipiente, puede calcularse el peso de cloro que debe utilizarse para obtener la solución con la concentración deseada.

Los accesorios del pozo, el sistema de bombeo, los depósitos de agua y las tuberías necesitan también una esterilización cuidadosa, no sólo después de su instalación, sino también después de cualquier operación de reparación. Deben tomarse las medidas necesarias para que el agua clorada sea llevada a todas las partes constituyentes de la estructura del pozo. Las válvulas y tomas de agua deben conservarse abiertas hasta que pueda sentirse el olor

de cloro. Seguidamente deben cerrarse, para que la solución desinfectante pueda permanecer algunas horas en los depósitos y en el sistema de distribución.

### **2.10.3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CONSEGUIR UNA ADECUADA PROTECCIÓN SANITARIA**

En la mayoría de los lugares, el agua subterránea en su estado natural presenta condiciones sanitarias satisfactorias y, por consiguiente, es apta para el consumo humano. Sin embargo, la propia penetración de un pozo en el acuífero a explotar puede facilitar la contaminación directa del agua subterránea por aguas sucias u otros líquidos contaminantes. Las principales vías de posible contaminación del pozo son su parte superior y el espacio anular entre la tubería y el hueco de perforación. Por ello las medidas constructivas que se tomen deben estar encaminadas a evitar la contaminación a través de estas dos vías.

#### **Localización del pozo**

En la construcción de un pozo, es de fundamental importancia su ubicación en relación con posibles fuentes de contaminación. El sitio elegido debe estar en una elevación superior a la de cualquier fuente cercana de contaminación. La inclinación de la superficie del terreno alrededor del pozo debe permitir que el agua superficial escurra en todas direcciones.

Existen normas que permiten fijar las distancias mínimas recomendables a posibles fuentes de contaminación cuando las formaciones del subsuelo, próximas a la superficie del terreno, estén construidas por materiales granulares. Sin embargo, estas distancias pueden ser insuficientes cuando las formaciones cerca de la superficie sean de grava o arena gruesa y más aún cuando se trate de rocas fracturadas o de formaciones de caliza.

#### **Protección superior**

A fin de evitar la entrada de aguas exteriores, la tubería de revestimiento del pozo debe sobresalir por lo menos 0,5 m por encima de la superficie del

terreno y sobre ésta debe disponerse, alrededor de dicha tubería una placa de cemento con espesor de 15 cm en el centro y de 10 cm en el borde y tal que su cara superior tenga pendiente hacia la periferia en todas direcciones.

Cuando la bomba no esté instalada directamente sobre el pozo, la abertura superior de la tubería de revestimiento debe quedar cerrada herméticamente mediante uno de los dispositivos.

Cuando se instale la bomba directamente sobre la tubería de revestimiento, debe cuidarse que ésta ajuste herméticamente en un orificio adecuado en la base de la bomba.

### **Cementación**

La cementación de un pozo consiste en llenar con una lechada de cemento el espacio anular entre la tubería de revestimiento y el hueco de perforación, para evitar la infiltración vertical por el exterior del pozo.

Si el pozo tiene un revestimiento doble, uno interior y otro exterior, el cemento deberá ser introducido entre las dos tuberías, además de colocarse alrededor del revestimiento exterior.

Las ventajas de la cementación de un pozo son las siguientes:

1. Previene la infiltración de aguas superficiales contaminadas por la parte exterior de la tubería de revestimiento, protegiendo así las capas acuíferas productivas.
2. Cierra y aísla estratos acuíferos que contengan agua de calidad y química indeseable.
3. Protege el metal de la entubación de los procesos de corrosión
4. Protege la tubería contra las presiones exteriores.

En pozos que penetran acuíferos en rocas de fisuras que alcancen a la superficie del terreno, es muy importante que la entubación sea de la mayor

longitud posible, aunque el terreno se mantenga, y el espacio anular entre aquella y la pared del pozo debe sellarse.

En general, las fisuras en los acuíferos en calizas y otras formaciones de rocas fracturadas son grandes y permiten la rápida infiltración del agua superficial; por ello, sólo debe utilizarse directamente el agua obtenida de estas formaciones, cuando se encuentren recubiertas por materiales no consolidados con un espesor mínimo de 10 m y hasta una distancia mínima de 1000 m del pozo. Si estas condiciones no se cumplen, el único procedimiento seguro para desinfectar el agua es emplear una cloración continua.

Cuando el espesor de los materiales no consolidados antes mencionados sea de 10 m o superior, deben cementarse los 5 m superiores de la tubería de revestimiento. Esta, por otro parte, debe siempre atravesar completamente los materiales no consolidados, cualquiera que sea su espesor, y asentarse firmemente en la formación de roca.

En los pozos construidos en formaciones de arenisca consolidada, la tubería de revestimiento debe ser cementada hasta una profundidad mínima de 10 m, si el acuífero está bajo materiales no consolidados de espesor inferior a 8 m. Si se encuentra más de 8 m de arena suelta encima de la arenisca, puede prescindirse de la cementación, si bien la tubería debe asentarse en la roca firme. Si el material que se superpone al acuífero de arenisca es arcilla, es necesario cementar la tubería hasta 5 m por debajo de la superficie del terreno. En caso de que la arenisca se encuentre debajo de rocas fisuradas, la tubería de revestimiento debe prolongarse 5 m, por lo menos, en la formación de arenisca y cementar con lechada de cemento en toda su longitud.

Si se trata de pozos en formaciones no consolidadas y tales que los materiales existentes sobre el nivel acuífero sean exclusivamente arcillosos y

con espesor de 8 cm o superior, la cementación del entubado debe extenderse hasta una profundidad mínima de 6 m. Si los materiales existentes sobre el nivel acuífero son arcillosos en sus tramos más inferiores, pero son de gravas y arenas en la zona más superficial, con espesor de esta última no superior a 6 m, es conveniente cementar hasta por lo menos 7 m de profundidad.

La lechada de cemento normalmente consiste en cemento Pórtland u otro cemento que endurezca rápidamente, mezclado con agua. También se puede agregar de 3% a 5% de bentonita para que la mezcla fluya mejor y para reducir la contracción resultante del endurecimiento del cemento. Si se utiliza solamente cemento mezclado con agua, deben utilizarse de 40 a 50 litros de agua por cada 100 kg. de cemento. Si se agrega bentonita a la mezcla de cemento y agua, deben emplearse 70 a 75 litros de agua y 3 a 5 kg. de bentonita pro cada 100 kg. de cemento.

En casos de temperaturas bajas, en que se requiere un endurecimiento más rápido, es aconsejable agregar hasta 1,5% (en peso) de cloruro cálcico. En los trabajos donde se necesite una cantidad considerable de lechada, puede agregarse arena fina o mediana al cemento, si bien ello aumenta la dificultad de colocación de lechada.

El tiempo durante el cual se puede manipular la lechada de cemento con la bomba varia con el tipo de cemento utilizado. El cemento Pórtland lento conviene para los trabajos importantes, pues la duración del bombeo puede ser de 4 a 5 horas. El cemento normal de construcción no puede ser bombeado durante más de 2 horas después de su preparación. El cemento de fraguado rápido sólo puede ser bombeado durante 40 minutos. El volumen de la mezcla líquido-cemento a inyectar en el pozo debe ser calculado previamente, teniendo además en consideración las pérdidas previsibles por penetración de la lechada en el terreno.

Cuando se necesitan cantidades pequeñas de lechada, puede prepararse a mano, agregando lentamente un volumen cada vez mayor de cemento en polvo al agua y agitando la mezcla con una pala. Para cantidades importantes, debe utilizarse el tipo de mezclador apropiado; la mezcla obtenida con este aparato puede bombearse con facilidad y la hidratación de las partículas de cemento es uniforme, además de la rapidez de su operación (1 saco de cemento puede ser absorbido y mezclado en 4 ó 5 segundos).

Los métodos empleados para colocación de la lechada son muy diversos. En general, son de realización sencilla y, para un sondista que trabaje a rotación, una cementación no presenta mayores dificultades que una operación de sustituir el lodo de perforación.

Independientemente del método utilizado, la lechada debe ser colocada de modo continuo, antes de que se inicie el fraguado, e introducida por el fondo del espacio anular a cementar, para evitar la segregación de materiales o la formación de espacios vacíos.

Para asegurar que el espacio anular esté totalmente libre de los detritus de perforación y ara facilitar la adherencia del cemento a la superficie exterior de la entubación, es aconsejable limpiar ese espacio con agua antes de comenzar las operaciones de cementación.

Para forzar la lechada, pueden utilizarse bombas adecuadas, presión neumática o hidráulica. También puede ser colocada por gravedad en pozos poco profundos.

#### **2.10.4 ABANDONO DE POZOS, SELLADO**

Cuando, por las causas que sea, se abandone la explotación de un pozo, éste debe ser convenientemente sellado, para cumplir los cuatro fines fundamentales siguientes:

- 1) Prevenir la contaminación del acuífero por aguas residuales u otras sustancias indeseables

- 2) Eliminar los riesgos físicos potenciales (caídas, etcétera).
- 3) En caso de pozos surgentes, evitar las pérdidas de agua y el descenso de niveles piezométricos.
- 4) Evitar que el pozo actúe, en su caso, como canal de intercomunicación de aguas entre distintas formaciones.

Se trata de conseguir la restauración, en lo posible, de las condiciones del subsuelo que existían antes de la construcción del pozo, teniendo en cuenta los cambios que hayan ocurrido desde entonces (por ejemplo, deterioro del acuífero por intrusión marina).

Si se trata de un acuífero libre, el pozo ha de sellarse con material impermeable para evitar la circulación de aguas por el interior del pozo a lo largo de la parte exterior de la entubación.

Las operaciones de sellado en condiciones artesianas deben orientarse a confinar el agua en el acuífero del que procedan.

Antes de iniciar el sellado conviene investigar el estado del pozo, determinar los detalles de su construcción y asegurarse de que no haya obstrucciones en el mismo. Si estas últimas existieran, deben ser eliminadas.

Para conseguir que el material del sellado llene no sólo la entubación del pozo, sino también todo el espacio anular entre la misma y el terreno, puede ser necesario en algún caso taladrar dicha entubación. En otras ocasiones se procede a la extracción del entubado para asegurar la colocación de un sello eficaz. En cualquier caso deberá retirarse, por lo menos, la parte superior de la entubación para evitar la entrada de agua superficial; operación que no será necesaria si al construir el pozo se cementó el espacio anular alrededor de dicho tramo superior del entubado.

Los materiales más empleados para el sellado de pozos son: hormigón, cemento, mortero, arcilla y arena.



Generalmente se usa el hormigón para la parte superior del pozo o para rellenar pozos de gran diámetro. La lechada de cemento más o menos densa se utiliza más para sellar pequeños huecos o para rellenar los espacios anulares o cavidades en la formación que rodea al pozo.

En pozos de gran diámetro perforados en acuíferos libres, en pozos de gran profundidad, o cuando las formaciones tienden a derrumbarse, debe utilizarse arcilla en estado relativamente seco, arilla y arena o arena sola; frecuentemente es necesario utilizar combinaciones de estos materiales. A veces conviene tratar las arcillas con cloro activo para esterilizarlas, a fin de evitar que se conviertan en un foco de contaminación persistente. También puede emplearse bentonita. Los rellenos de grava y arena son en general poco recomendables.

Después de haber eliminado cualquier obstrucción que pueda interferir con las operaciones de sellado, debe rellenarse el pozo con material impermeable desde el fondo hacia arriba, hasta la profundidad mínima requerida para cada zona. El material impermeable puede ser cemento, suelo natural impermeable, arcilla u otro material adecuado. Frente a la formación acuífera se colocará arena o grava limpia y desinfectada como material de relleno; sólo entonces, se introduce el material impermeable.

Si existe un espacio anular, se debe perforar y rajar la entubación empezando por la parte inferior, en longitudes de unos dos metros, empezando en la parte superior del material impermeable. Deberá entonces introducirse un tubo de inyección dentro del revestimiento, con un obturador que cierre por encima de las perforaciones. Introduciendo cemento a través de las perforaciones a presión, se forma un anillo de cemento en el espacio anular. Después que el cemento haya fraguado, la tubería se perforará hasta un punto más elevado, repitiéndose la operación de cementación hasta que el cemento llegue a la superficie. A veces es necesario perforar la tubería de

revestimiento desde el tapón más elevado hasta la superficie. La tubería y el espacio anular se rellenan entonces con cemento.

Si el pozo no tiene espacio anular, se llena la entubación con cemento desde la parte superior del material impermeable hasta la superficie. El material de sellado debe ser aplicado continuamente, desde abajo hacia arriba.

Si el espacio anular de un pozo había sido previa y adecuadamente cementado, sólo hay que llenar el pozo con cemento hasta la profundidad requerida.

A fin de sellar pozos con macizo de grava, puede utilizarse uno de los tres métodos siguientes:

1. Perforar la tubería en el intervalo vertical que se quiere sellar. Forzar el material de sellado a través de las perforaciones, de forma que se puedan llenar todos los espacios entre las partículas del macizo de grava. El material de sellado deberá también llenar el intervalo perforado dentro de la tubería.

2. Forzar el material de sellado a través de la rejilla para que rellene el macizo de grava, desde el fondo hasta la parte superior del pozo, e introducir dicho material dentro de la tubería, desde el fondo hasta la parte superior de la formación a sellar.

3. Retirar la tubería y sacar la grava hasta una profundidad por debajo de la formación a sellar. Introducir material de sellado dentro del pozo.

El sellado de pozos abandonados que tengan un gran flujo de agua entre formaciones acuíferas o hasta la superficie o hasta la superficie requiere una atención particular. En tales pozos puede ser inviable la colocación por gravedad del material de sellado. Es necesario entonces utilizar gravas gruesas, lana de plomo, virutas de acero o un obturador de madera o plomo para restringir el caudal y permitir la colocación por gravedad del material de sellado. Como es muy importante impedir la circulación entre formaciones o la

pérdida de agua hacia la superficie, se recomienda el empleo de una técnica de cementación a presión con cemento puro usando la cantidad mínima de agua para mantener una fluidez que permita la manipulación.

A fin de proteger el sello de cemento y para facilitar el futuro uso del terreno, deberá excavarse alrededor de la parte exterior de la entubación, una cavidad con una profundidad de 2 metros y un diámetro aproximadamente 30 cm más ancho que el hueco de perforación. Se cortará entonces la tubería de revestimiento 15 cm por encima del fondo de la excavación. Debe permitirse que el cemento salga de la entubación y llene la excavación hasta un espesor de 30 cm. Después que el cemento haya fraguado, la excavación debe llenarse con el suelo natural.

#### **2.10.5 RECUPERACION DE LA REJILLA DE LOS POZOS**

Cuando un pozo sufre desperfectos en la rejilla conviene extraerla y reponerla y cuando se va a abandonar y tiene una rejilla costosa aún en buen estado puede convenir recuperarla para su eventual utilización posterior.

En el caso de que la rejilla sea solidaria de la entubación, puede procederse a extraer ésta, si no está cementada (si lo está es materialmente imposible), mediante gatos de tracción, y reponer la zona filtrante (generalmente tubería perforada) por golpeo y con ayuda de una máquina de perforar a percusión.

Cuando la rejilla no es solidaria de la entubación y sólo está en contacto con ella mediante un cierre de plomo ensanchado la operación es mucho más sencilla, pues, puede proceder a descender un varillaje resistente a la tracción con una tela de saco fuertemente atada con alambre al extremo inferior; una vez en posición se vierte arena en el interior del pozo hasta llenar una buena porción de la rejilla. Tirando fuertemente del varillaje con gatos de suele conseguir extraer la rejilla, pues la adherencia que proporciona la arena es

muy elevada. El método es útil para rejillas de diámetro superior a 100 mm, empleando un varillaje de diámetro aproximadamente la mitad del exterior de la rejilla.

## CONCLUSIONES

- El manual de operación y mantenimiento es de suma importancia para el encargado de la planta y sus colaboradores ya que recibirán información de la planta.
- Las estructuras de una planta deben ser antisísmica, para evitar fallas de energía o daño en el sistema.
- El uso de nuevas tecnología implica optimización en procesos y uso de altas cargas superficiales, lo cual redundará en plantas más pequeñas y, por ende, más económicas.
- El uso de alta tecnología no está reñido en ningún momento con el grado tecnológico normalmente existente en los países del área para construir, operar y mantener las plantas de tratamiento.
- Los nuevos conceptos tecnológicos conducen a simplificación tanto de los procesos como de su operación, haciéndolos también apropiados para países con bajo desarrollo industrial.
- Cuando la producción de la captación baja, es decir disminuye el caudal o el consumo de energía se incrementa por el abatimiento del nivel del agua, debemos asumir un deterioro en la bomba, en el pozo o en el acuífero. El indicador, como ya se comentó, es la eficiencia electromecánica del equipo. Una disminución de la misma puede deberse a un deterioro normal, o cuando se compara el caudal y la carga hidráulica en operación con las curvas características de los fabricantes, puede ser una mala selección desde el inicio de operación.
- En cuanto al pozo, cuando su rendimiento específico disminuye, lo más probable es que la zona de captación se acortó. Lo anterior es debido a una disminución del espesor saturado por abatimiento del acuífero, por azolve o por incrustaciones en el ademe.
- De acuerdo con el diagnóstico descrito, si el problema se detectó que fuera en la bomba, no queda otro remedio que cambiar los impulsores. Indudablemente, el caudal y la eficiencia del conjunto pozo-equipo deberán

mejorar, por lo que se tendrá que realizar otro diagnóstico inmediatamente después de su reparación

- Si por otro lado se detectaron disminuciones en el caudal específico del pozo y la causa es una disminución del espesor saturado del acuífero por abatimiento del nivel estático (sobre-explotación o interferencia con otros pozos) no hay nada que hacer. Si por el contrario, es un problema de azolve el retirarlos es lo indicado, o si se trata de incrustaciones en el ademe, su tratamiento es indudable.
- Desde luego la relación entre un desgaste prematuro del equipo de bombeo por producción de arenas, causará también un azolve continuo del pozo, material que se depositará en el fondo del mismo, de tal manera que este problema afectara también al equipo a al pozo.
- El procedimiento presentado representa la base del mantenimiento de los pozos, requiere de mediciones continuas, ya que en ocasiones es difícil con solo una medición caracterizar el funcionamiento del mismo. Además de que cuando el problema es ya muy grave, el pozo ya no está en funcionamiento y no es posible realizar pruebas.
- El proceso de corrosión debe ser visto como un hecho que pone en evidencia el proceso natural de que los metales vuelven a su condición primitiva y que ello conlleva al deterioro del mismo. No obstante es este proceso el que provoca la investigación y el planteamiento de fórmulas que permitan alargar la vida útil de los materiales sometidos a este proceso.
- En el trabajo se confirma que la lucha y control de la corrosión es un arte dentro del mantenimiento y que esta área es bastante amplia, dado el sinnúmero de condiciones a los cuales se encuentran sometidos los metales que forman equipos y herramientas.
- Como última conclusión está el hecho de que hay que ahondar en estos conocimientos pues ellos formarán parte integral de la labor que debe desempeñar un Ingeniero de Mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Uso de materiales de gran pureza.
- Presencia de elementos de adición en aleaciones, ejemplo aceros inoxidables.
- Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones.
- Inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, ejemplo los anticongelantes usados en radiadores de los automóviles.
- Recubrimiento superficial: pinturas, capas de óxido, recubrimientos metálicos
- Protección catódica.
- Las paradas de planta se programa los fines de semana para vaciar los elementos y ejecutar las reparaciones en seco.
- El encargado prepara el programa de las actividades que se realizaran durante la parada y el tiempo para cada tarea.
- Mantener extinguidotes de CO<sub>2</sub>, debidamente recargados para casos de incendios.
- En el caso de inundaciones mayores el encargado, deberá evaluar daños mediante una inspección sanitaria y tomar las medidas del caso.
- Si la turbiedad es tan alta y perjudicial (por huaycos) se debe parar la planta hasta su normalización.



## BIBLIOGRAFIA:

1. Arocha Ravelo, Simón; Abastecimiento de Agua, Teoría y Diseño; Edición N° 1, Ediciones Vega s.r.l.; Caracas, Venezuela, 1980.
2. BLASA; Expediente Técnico – Estudio Integral de la Red de Agua y Desagüe de la Universidad Nacional de Educación; Lima, Perú, 1997.
3. Blume Roberto; Proyecto de la Planta de Agua Potable de El Imperial Cañete; Dirección General de Obras Sanitarias – Ministerio de Vivienda Perú; Lima, Perú, 1998.
4. CAPECO; Reglamento Nacional de Edificaciones, Editorial Grupo Universitaria; Lima, Perú, 2006.
5. Custodio, Emilio / Ramón Llamas Manuel; Hidrología Subterránea; Edición N°2, Editorial Omega S.A.; Barcelona, Espana, 1996.
6. ESAPI E.I.R.L.; Estudio Integral del Servicio de Agua Potable de la Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle”; Lima, Perú, 1997.
7. León Ruiz, Gilberto; “Construc Soft” Software para la Elaboración de Presupuestos; Versión Omega; Lima, Perú, 2003.
8. Ministerio de Economía y Finanzas; Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública; Resolución Directoral N° 002-2007-EF/68.01; Lima, Perú, 2007.
9. Ministerio de Economía y Finanzas, Paredes Kuriyama, José Manuel; Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Saneamiento Básico en el Ámbito de Pequeñas Ciudades, a nivel de Perfil; Edición N° 1, Ministerio de Economía y Finanzas; Lima, Perú, 2007.
10. Reza García, Clemente; Válvulas y Accesorios en tuberías; Edición N° 2, Editorial Mc Graw-Hill; Madrid, España, 1986.
11. Rodrigo Mújica, Mónica; Análisis Económico de tarifación de Agua Potable mediante un modelo de simulación; Edición N° 2, Pontificia Universidad Católica de Chile; Santiago, Chile, 1981
12. Romero Rojas, Jairo Alberto; Potabilización del Agua; Edición N° 3 Alfaomega Grupo Editor, México-1999

13. Sapag Chain, Nassir; Preparación y Evaluación de Proyectos; Edición N°4, Editorial Mc. Graw - Hill Interamericana S.A.; Santiago, Chile, 2000.
14. SEDAPAL; Especificaciones Técnicas; Lima, Perú, 2006.
15. Vargas de Cánepa, Lidia; Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS; Lima, Perú, 2004.
16. Viejo Zubicaray, Manuel; Bombas, Teoría y Aplicaciones; Edición N° 2, Editorial Limusa S.A.; Acapulco, México, 2000.

# ANEXO 01

## ANALISIS BASICOS DE CONTROL DE CALIDAD

ANEXO 1

PROCEDIMIENTOS PARA EFECTUAR ANALISIS BASICOS DE  
CONTROL DE CALIDAD EN PLANTAS DE TRATAMIENTO

Durante el proceso de potabilización del agua es necesario efectuar algunos ensayos básicos con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento. A continuación se describen los procedimientos a realizar por parte de los operadores.

ENSAYO No. 1 - TURBIEDAD

Nombre del aparato: turbidímetro  
Unidades: unt (unidades nefelométricas de turbiedad)  
Frecuencia de muestreo: la turbiedad debe leerse al menos cada hora o cuando ocurren cambios visibles de la calidad del agua cruda que ingresa a la planta.

PROCEDIMIENTO

- a. El indicador de rango del turbidímetro debe estar en la posición 1000.
- b. Revisar que el instrumento esté debidamente conectado al tomacorriente. Este equipo está diseñado para trabajar continuamente y no debe ser desconectado. En caso de falta de fluido eléctrico, debe darse al equipo un periodo de calentamiento del aparato de dos (2) horas.
- c. Limpie el patrón de referencia con un papel o toalla no abrasiva y colóquelo en el compartimiento del turbidímetro localizado en la parte superior del aparato.
- d. Coloque el cobertor (cilindro negro) sobre el patrón.
- e. Coloque el indicador de rango en la posición 1.
- f. Utilice el botón "reference adjust" para calibrar el turbidímetro hasta que la aguja del mismo señale el valor del patrón de referencia (0.61 unt). El aparato está ahora calibrado y listo para leer la turbiedad de la muestra.
- g. Coloque el indicador de rango en la posición 1000 antes de quitar el patrón de referencia. Coloque el patrón en su estuche de protección.
- h. Llene la cubeta de muestra con el agua recolectada. No es necesario llenar totalmente la cubeta. Coloque la cubeta con la muestra en el compartimiento superior del turbidímetro y cúbrala con el cobertor.

- 2 -

- i. Mueva el indicador de rango desde la escala de 1000 hasta la escala que de la lectura más precisa.
- j. Luego de efectuada la lectura, devuelva el indicador de rango a la posición 1000, remueva la cubeta de muestra límpiela y guárdela en el estuche respectivo.

#### NOTAS

- a. Mantenga el cobertor del turbidímetro siempre en su lugar.
- b. Antes de quitar el cobertor, el selector de rango siempre debe estar en la posición 1000.
- c. Una vez al año el turbidímetro debe calibrarse con varios patrones. Este procedimiento debe ser efectuado por personal capacitado del laboratorio únicamente.
- d. Este equipo es altamente delicado. Su revisión interna y mantenimiento sólo debe ser efectuado por el personal autorizado para esta labor.

#### ENSAYO No. 2 - pH

Nombre del aparato: pH - metro  
Unidades: pH (rango de 0 a 14)  
Frecuencia de muestreo: cada hora

#### PROCEDIMIENTO

- a. Los electrodos deben estar colocados en los terminales respectivos. En caso de duda consulte con el supervisor de la planta.
- b. Seleccione una solución buffer (de pH conocido) con un pH cercano al del agua. La temperatura del buffer no debe diferir en más de 10°C de la temperatura del agua.
- c. Sumerja los dos electrodos y un termómetro en la solución buffer.
- d. Coloque el selector de función (FUNCTION) en la posición °C y coloque el botón ON/OFF en la posición ON. Mueva el control de pendiente (slope) completamente en dirección contraria a las manecillas del reloj.
- e. Permita que los electrodos, el termómetro y el buffer alcancen equilibrio térmico (lectura constante en el termómetro) y entonces ajuste el control de temperatura (TEMPERATURE) hasta que sea igual a la indicada por el termómetro.

- 3 -

- f. Determine cual es el pH exacto del buffer (indicado en la botella).
- g. Coloque el selector de función (FUNCTION) en la posición pH y ajuste el botón de calibración (STANDARDIZE) hasta que la pantalla indique el pH igual al del buffer.
- h. Remueva los electrodos y el termómetro de la solución buffer y enjuáguelos con agua destilada.
- i. Coloque el selector de función en la posición °C y sumerja los electrodos y el termómetro en la cubeta con la muestra de agua.
- j. Permita que los electrodos y el agua de la muestra alcancen equilibrio termal (lectura estable en el termómetro) y entonces ajuste usando el botón de temperatura (TEMPERATURE) hasta que la pantalla del aparato indique la un valor de temperatura igual al indicado por el termómetro.
- k. Coloque el selector de función en la posición pH y lea el valor del pH en la pantalla digital. Este es el valor correcto del pH del agua.
- l. Remueva los electrodos de la muestra y enjuáguelos con agua destilada. Si se requiere leer el pH de varias muestras, repita los pasos (8) a (12) para las muestras faltantes.
- m. Coloque el selector ON/OFF en la posición OFF después de la última lectura. Es conveniente mantener los electrodos sumergidos en agua destilada cuando el equipo no está siendo usado.

#### NOTAS

- a. El procedimiento anterior es adecuado para la mayor parte de las lecturas de pH que se efectúan en la planta de tratamiento. Lecturas especiales deberán ser hechas por personal capacitado del laboratorio.
- b. La solución buffer (pH conocido) debe ser suministrada por el laboratorio.
- c. Calibraciones especiales y actividades de mantenimiento del aparato sólo las realizará el personal especializado para tal efecto.

#### ENSAYO No. 3 - CLORO RESIDUAL LIBRE

Nombre del aparato: comparador de cloro  
Unidades: mg.Cl<sub>2</sub>/l (miligramos de cloro por litro)  
Frecuencia de muestreo: dos veces al día

- 4 -

#### PROCEDIMIENTO

- a. Llene una de las cubetas de muestra con agua de la muestra hasta la marca de 10 ml. Colóquela en el compartimiento izquierdo del aparato. Este tubo servirá para color o turbiedad presente en el agua.
- b. Enjuague la segunda cubeta con agua de la muestra y deje una cantidad pequeña de agua apenas suficiente para humedecer la tableta que se agregará.
- c. Agregue una tableta de DPD No. 1 y tritúrela con la varilla plástica incluida con el comparador.
- d. Remueva la varilla. Llene la cubeta con agua de la muestra hasta la marca de 10 ml y mezcle usando la varilla plástica. Inserte este tubo en el compartimiento derecho del comparador.
- e. El disco de comparación debe encontrarse en el aparato. Gire el disco hasta obtener similitud de colores en ambas partes. La lectura de la concentración de cloro libre (mg/l) se efectúa directamente en la abertura localizada en la parte superior derecha del comparador.

#### NOTAS

- a. Las comparaciones colorimétricas deberían hacerse dirigiendo el comparador hacia el cielo en dirección norte y con luz diurna. Si se obtiene un color intermedio entre dos posiciones del comparador, estime el resultado interpolando entre los dos valores.
- b. Mantenga las cubetas y el comparador siempre limpios.
- c. El reactivo utilizado (DPD No. 1) debe ser suministrado por el laboratorio.
- d. El disco de color para comparación sólo debe limpiarse con papel óptico. Evite otros materiales con el fin de no dañar los patrones de color.

#### ENSAYO No. 4 - MEDICION DE COLOR

Nombre del aparato: Aqua Tester (comparador de color)  
Unidades: unidades de color (u.c.) escala de platino cobalto  
Frecuencia: el color del agua debe medirse con frecuencia horaria o cuando se observen cambios bruscos en la calidad del agua cruda a la entrada de la planta.

- 5 -

### PROCEDIMIENTO

- a. Asegúrese de que el aparato se encuentra conectado al tomacorriente apropiado. Los tubos Nessler que se encuentran dentro del aparato deben estar limpios y secos.
- b. Llene un tubo Nessler con agua destilada y colóquelo en el compartimiento derecho del comparador. Coloque el tapón respectivo.
- c. Llene el otro tubo Nessler con agua de la muestra y colóquelo en el compartimiento derecho del comparador. Coloque el tapón respectivo.
- d. El disco con los patrones de color debe encontrarse instalado en el aparato. Al rotarse el disco, los números que representan los valores de color aparecen en la ventana circular en el campo de luz.
- e. Rote el disco de color hasta que se obtengan colores iguales en los semicírculos que se observan en la imagen. Pueden estimarse los valores de color intermedios (aquellos que no se ajustan exactamente a uno de los patrones).
- f. Remueva los tubos Nessler y efectúe la limpieza respectiva.

### NOTAS

- a. Se obtienen mejores comparaciones en cuartos oscurecidos.
- b. Apague el equipo cuando no se encuentra en uso.
- c. La superficie exterior de los tubos Nessler debe estar limpia y seca antes de introducirse en el Aqua Tester.
- d. Enjuague siempre los tubos con agua destilada después de su uso y déjelos secar.
- e. No observe a través del visor con el ojo demasiado cerca o por periodos prolongados.
- f. El método expuesto mide unidades de color aparente. Si se desea el color verdadero del agua, la muestra debe filtrarse previamente con papel Whatman No.40.

### ENSAYO No. 5 - PRUEBA DE JARRAS (DOSIS Y pH OPTIMO).

Nombre del equipo: Aparato de prueba de jarras  
Frecuencia del ensayo: durante la época lluviosa debería efectuarse un ensayo semanal o cuando ocurran cambios bruscos de la calidad del agua.



- 6 -

#### PROCEDIMIENTO

- a. Se toma una muestra de agua cruda (50 l aproximadamente).
- b. Se llenan las seis jarras del aparato con dos muestra cada una.
- c. Se prepara una dosis variable de sulfato de comenzando con la dosis menor en la jarra No. 1.

TA: EL SUPERVISOR DEBE ESCOGER LA DOSIFICACION APROXIMADA CON BASE EN LA CURVA DE DOSIFICACION OPTIMA EXISTENTE O ACTUALIZADA (GRAFICA No. 1).

- d. Se enciende el equipo de prueba de jarras y con el interruptor en la posición HI y se pone a girar a la máxima velocidad.
- e. Se agregan las dosis de sulfato de aluminio y se dejan mezclar por un minuto.
- f. Se pasa el interruptor a la posición LO y se dejar mezclar el agua (floculación) por 20 minutos a 50 rpm.
- g. Se apaga el aparato y se dejan sedimentar las jarras por diez minutos.
- h. Se toma simultáneamente una muestra de cada jarra a una profundidad de 6 cm utilizando un flotador.

NOTA: El supervisor debe acondicionar el equipo de prueba de jarras de acuerdo con las recomendaciones del Manual Criterios de Selección CEPIS (Referencia bibliografica 5)

- i. Se lee turbiedad, color, pH y alcalinidad al agua sedimentada. La dosis óptima es la que produzca la mejor calidad del agua sedimentada en las jarras.
- j. Si es necesario afine la dosis utilizando valores cercanos a la dosis obtenida en I.

#### PH OPTIMO

- a. Se llenan nuevamente las jarras con agua de la misma muestra.
- b. Se preparan seis dosis idénticas del coagulante (la dosis óptima encontrada en el ensayo anterior).
- c. Se varía el pH de las jarras de manera que las jarras 1 y 2 tengan pH inferiores al del agua cruda. La jarra 3 se mantiene con el mismo pH natural y las jarras 4, 5 y 6 se

- 7 -

les aumenta el pH. El rango usual de la prueba es de pH = 5 hasta 9. Para reducir el pH se dosifica ácido sulfúrico y para aumentarlo solución de cal.

**NOTA:** Usar el pH-metro para controlar el pH en cada jarra mientras se modifica.

- d. Se repiten los pasos de e) hasta i) en el ensayo anterior.
- e. El pH óptimo corresponde a la jarra con la mejor calidad del agua. Puede efectuarse una gráfica de turbiedad (o color) residual V.S. pH para obtener mayor precisión al escoger la dosis.

## **ANEXO 02**

### **LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES**

- 2 -

b. Tanque hidroneumático:

MARCA: Jacuzzi

Modelo: TT120-04

No. de serie: 505695

Características: capacidad total de 58 galones, caudal máximo de 50 gpm (3.154 l/s) y presión máxima de trabajo de 100 psi (70 mca). El tanque permite una extracción de 21.2 galones para rango de operación de 20-40 psi y 17.2 galones para un rango de 30-50 psi.

2. MOBILIARIO

La planta cuenta con el siguiente mobiliario:

- a. Un escritorio pequeño
- b. Cuatro sillas
- c. Un archivador de tres gavetas

Localización: casa de Operaciones (oficina y laboratorio)

3. EQUIPO Y MATERIALES DE LABORATORIO

3.1 EQUIPO DE LABORATORIO

a. Turbidímetro:

MARCA: Fisher, manufacturado por HF Scientific, Inc. EEUU

MODELO: DRT-100-20011

No. de serie: 21290

Accesorios: KIT estándar para modelo DRT-100 No. P# 70500 y etiqueta P# 21304

Características: turbidímetro nefelométrico para operar con 220 V., 50 Hz.

b. Equipo para medir color por comparación.

MARCA: ORBECO-HELLIGE

Fabricación: EEUU

Características: equipo para medir color por comparación por el método de platino-cobalto. Utiliza foco 220 V.

Accesorios: incluye tubos Nessler (dos) y sus respectivos tapones esmerilados. No incluye el disco estándar.

**NOTA:** Por estar incompleto, el presente equipo no fue instalado en la planta de tratamiento.

- 3 -

c. Conductivimetro:

MARCA: Fisher  
MODELO: no indica  
No. de serie: 642196  
OPERACION: batería seca 9 v.

d. pH-metro:

MARCA: Fisher  
MODELO: 955  
Número de catálogo: 13-639-955  
Número de serie: 5116  
OPERACION: batería seca de 9 v.

Accesorios:

- ♦ Electrodo No. 13-620-108
- ♦ Electrodo No. 13-620-18 (electrodo de referencia)
- ♦ Adaptador 120 voltios a 9 voltios
- ♦ Transformador 220 voltios a 120 voltios

e. Comparador de cloro:

MARCA: Fisher  
MODELO: 603-AHT  
No. de serie: no indica

Accesorios:

- ♦ Disco para comparación con rango de 0.2 a 4.0 mg.Cl<sub>2</sub>/l modelo No. 430-D
- ♦ Dos cajas de pastillas DPD tipo 3
- ♦ Seis cajas de pastillas DPD tipo 1
- ♦ Tres cubetas para muestra

DESCRIPCION: comparador de cloro, sistema DPD

f. Equipo para prueba de jarras:

MARCA: Phipps & Bird  
MODELO: 7790-402  
DESCRIPCION: equipo para prueba de jarras con seis paletas para agitación y tacómetro digital para variar la velocidad de las paletas. Operación a 220 voltios y 50-60 Hz.

Accesorios:

Base para iluminación MODELO 7790-550 para operar a 220 voltios, 50 Hz.  
No. de serie: 0490181

## **ANEXO 03**

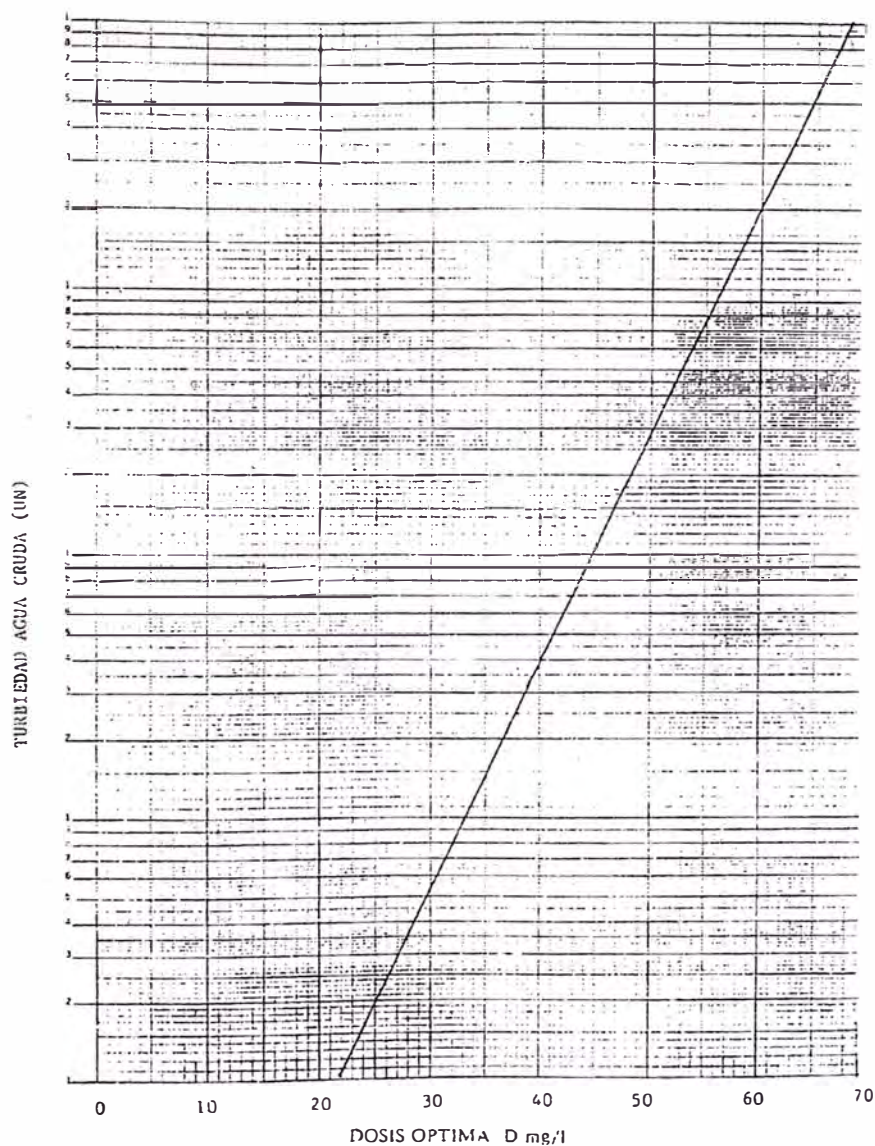
### **GRAFICAS Y TABLAS DEL MANUAL DE OPERACION**

- 1 -

GRAFICA No. 1

**CURVA DE CORRELACION DE TURBIEDAD VERSUS DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE**

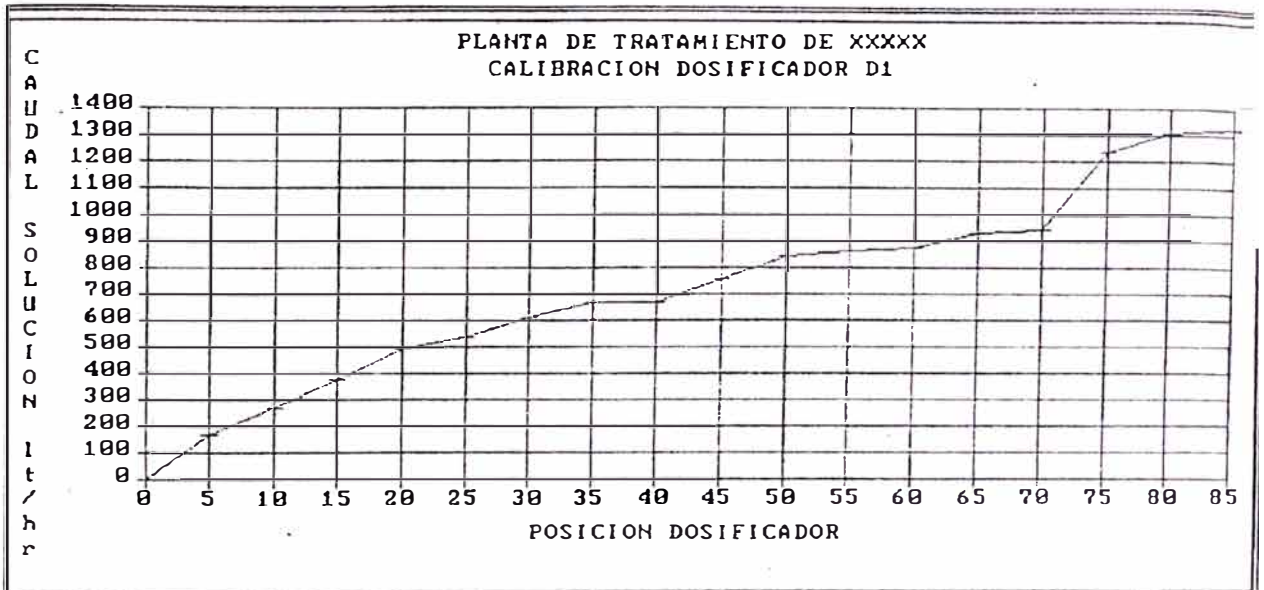
$$\log T = 9,955 D - 0,172$$



- 2 -

GRAFICA 2

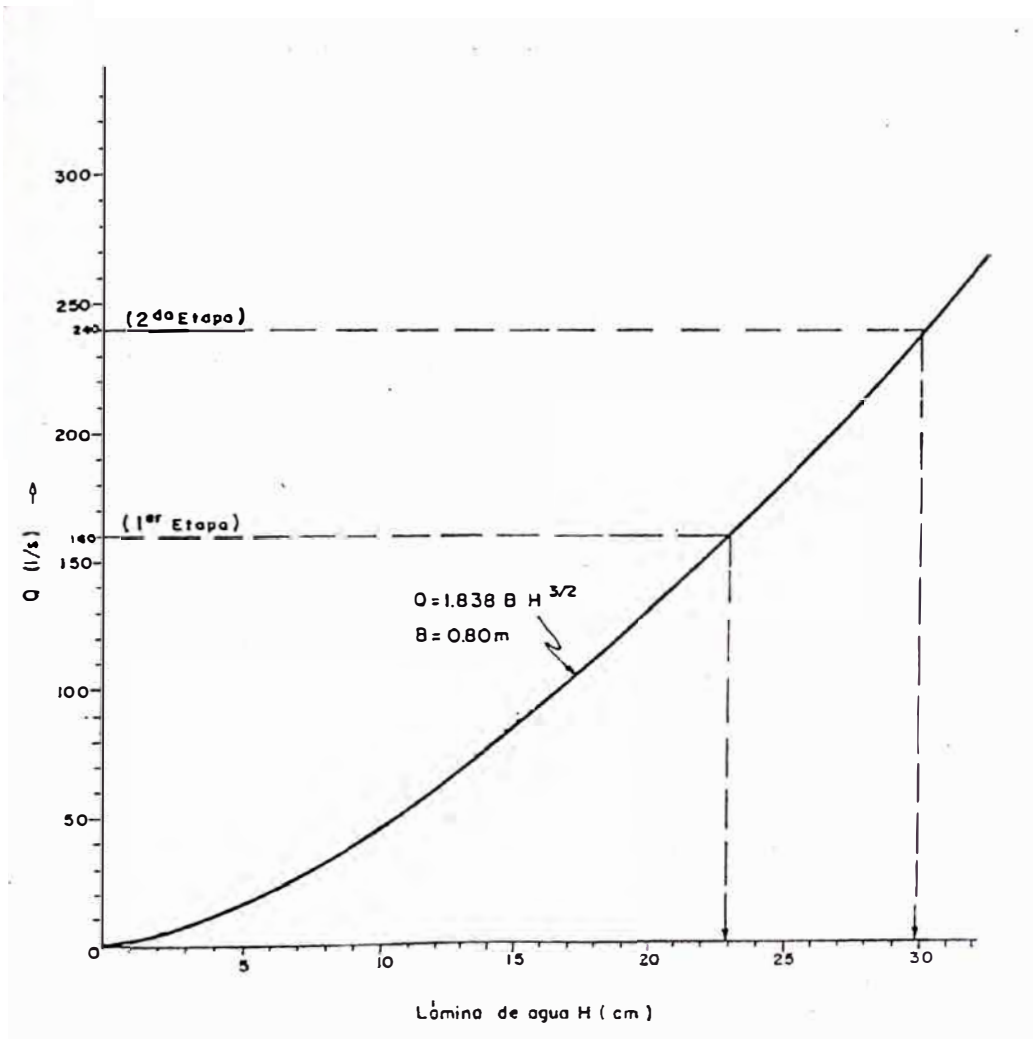
CURVA DE CALIBRACION DEL DOSIFICADOR Y TABLA DE DOSIFICACION





- 3 -

GRAFICA No. 3  
UNIDAD DE MEDICION - CURVA DE DESCARGA  
CAUDAL VS. LAMINA DE AGUA EN RAMPA DE MEZCLA RAPIDA



- 4 -

TABLA No. 1 - DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO									
CONCENTRACION = 10000 mg/l = 1.0%									
Caudal de solución qs en litros por hora (l/h)									
Q(l/s)>> D/mg/l	90	95	100	105	110	115	120	125	135
5	162	171	180	189	198	207	216	225	243
7.5	243	256.5	270	283.5	297	310.5	324	337.5	364.5
10	324	342	360	378	396	414	432	450	486
12.5	405	427.5	450	472.5	495	517.5	540	562.5	607.5
15	486	513	540	567	594	621	648	675	729
17.5	567	598.5	630	661.5	693	724.5	756	787.5	850.5
20	648	684	720	756	792	828	864	900	972
22.5	729	769.5	810	850.5	891	931.5	972	1012.5	1093.5
25	810	855	900	945	990	1035	1080	1125	1215
27.5	891	940.5	990	1039.5	1089	1138.5	1188	1237.5	1336.5
30	972	1026	1080	1134	1188	1242	1296	1350	1458
32.5	1053	1111.5	1170	1228.5	1287	1345.5	1404	1462.5	1579.5
35	1134	1197	1260	1323	1386	1449	1512	1575	1701
37.5	1215	1282.5	1350	1417.5	1485	1552.5	1620	1687.5	1822.5
40	1296	1368	1440	1512	1584	1656	1728	1800	1944
42.5	1377	1453.5	1530	1606.5	1683	1759.5	1836	1912.5	2065.5
45	1458	1539	1620	1701	1782	1863	1944	2025	2187
47.5	1539	1624.5	1710	1795.5	1881	1966.5	2052	2137.5	2308.5
50	1620	1710	1800	1890	1980	2070	2160	2250	2430
52.5	1701	1795.5	1890	1984.5	2079	2173.5	2268	2362.5	2551.5
55	1782	1881	1980	2079	2178	2277	2376	2475	2673
57.5	1863	1966.5	2070	2173.5	2277	2380.5	2484	2587.5	2794.5
60	1944	2052	2160	2268	2376	2484	2592	2700	2916
62.5	2025	2137.5	2250	2362.5	2475	2587.5	2700	2812.5	3037.5
65	2106	2223	2340	2457	2574	2691	2808	2925	3159
67.5	2187	2308.5	2430	2551.5	2673	2794.5	2916	3037.5	3280.5
70	2268	2394	2520	2646	2772	2898	3024	3150	3402

## **ANEXO 04**

### **CUADROS DE CONTROL DE PROCESOS**

**Cuadros de control de procesos en plantas de tratamiento**

**Tabla 4-1. Hoja de control diario**

Planta potabilizadora de: Fecha: ___/___/___ Control de parámetros básicos Punto de muestreo:									
Hor a	Caud al (L/seg )	Turbieda d (UNT)	Colo r (UC)	p H	Alcalinidad (mg.CaCo3/ L)	Dosis coag. (mg/L )	Dosis Cl2 (mg/L )	Otr o	Operad or
01									
02									
03									
04									
05									
06									
07									
08									
09									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

**Tabla 4-2. Registro de control mensual**

Planta potabilizadora de: _____ Mes: _____												
D Í A	Turbiedad			Color			pH			Alcalinidad		
	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom
0												
1												
0												
2												
0												
3												
0												
4												
0												
5												
0												
6												
0												
7												
0												
8												
0												
9												
1												
0												
1												
1												
1												
2												
1												
3												
1												
4												
1												
5												
1												
6												
1												
7												
1												
8												
1												
9												

2												
0												
2												
1												
2												
2												
2												
3												
2												
4												
2												
5												
2												
6												
2												
7												
2												
8												
2												
9												
3												
0												
3												
1												

**Tabla 4-3. Registro de consumo de productos químicos**

Planta potabilizadora de:					
Control de consumo de productos químicos			Producto:		
N.º de registro	Cantidad inicial	Consumo parcial	Saldo actual	Fecha	Observaciones

**Nota:** cantidades en kilogramos

**Tabla 4-4. Control de consumo de cloro**

Planta potabilizadora de:		Fecha:			
Horas	Caudal (L/s)	Lectura del rotámetro (kg/d)	Dosis de cloro (mg/L)	Consumo de cloro por peso (kg)	Consumo de cloro por cilindro (kg)
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					



## **ANEXO 05**

### **EJEMPLOS DE EXAMEN DE CONTROL DE CALIDAD**

### Ejemplos de exámenes de control de calidad

<b>Laboratorio central</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>		
Muestra n.o 549		Origen: Cruda
Fecha	Recolección: 10-12-92	Punto de recolección: Planta Los Cuadros
	Recibo: 10-12-92 Reporte: 16-12-92	
Examen fisicoquímico n.o: 02735 Recogido por: Marco A. Guerrero		Localización: San José Solicitado por: Producción
<b>Datos de campo</b>		
pH:		Cloro residual:
Temperatura del agua: °C		Estado del tiempo:
Temperatura ambiente: °C		Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección: 5:50 a. m.		Elevación: m.s.n.m.
<b>Determinaciones fisicoquímicas</b>		
Color verdadero: 5 U.Pt/Co		mg L-1
Turbiedad: 62,5 UNT		Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables mL/hora		Dureza de magnesio:
Sedimento		Magnesio:
Olor a: Negativo		Hierro total:
pH: 7,30		Sulfatos: 9
pH de saturación:		Acidez:
Índice de saturación:		Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
mg L-1		Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína: 0		Nitratos:
Carbonatos: 0		Zinc:
Alcalinidad total: 59		Cobre:
Bicarbonatos: 72		Manganeso:
Dióxido de carbono: 6		Plomo:
Dureza total: 56		Conductividad:
Dureza de carbonatos: 56		
Dureza de no carbonatos: 0		
Dureza de calcio:		
Observaciones: Color aparente 27,5 U.Pt/Co.		

Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:
--------------------------	------------------	-----------------------

<b>Laboratorio central</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>		
Muestra n.o 579		Origen: Sedimentada
Fecha	Recolección: 10-12-92	Punto de recolección: Planta Los Cuadros
	Recibo: 10-12-92	
	Reporte: 16-12-92	
Examen fisicoquímico n.o: 02736 Recogido por: Marco A. Guerrero		Localización: San José Solicitado por: Producción
<b>Datos de campo</b>		
pH:		Cloro residual:
Temperatura del agua: °C		Estado del tiempo:
Temperatura ambiente: °C		Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección: 5:50 a. m.		Elevación: m.s.n.m.
<b>Determinaciones fisicoquímicas</b>		
Color verdadero: 1,3 U.Pt/Co		mg L-1
Turbiedad: 1,6 UNT		Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables mL/hora		Dureza de magnesio:
Sedimento		Magnesio:
Olor a: Negativo		Hierro total:
pH: 6,75		Sulfatos: 19
pH de saturación:		Acidez:
Índice de saturación:		Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
mg L-1		Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína: 0		Nitratos:
Carbonatos: 0		Zinc:
Alcalinidad total: 49		Cobre:
Bicarbonatos: 60		Manganeso:
Dióxido de carbono: 15		Plomo:
Dureza total: 49		Conductividad:
Dureza de carbonatos: 6		
Dureza de no carbonatos:		
Dureza de calcio:		
Observaciones: Dosis teórica de alumbre = 20 mg/L Dosificador de la planta = 18 mg/L		

Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:
<b>Laboratorio central</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>		
Muestra n.o 594	Origen: Filtrada	
Fecha	Recolección: 10-12-92 Recibo: 10-12-92 Reporte: 16-12-92	Punto de recolección: Planta Los Cuadros
Examen fisicoquímico n.o: 02737 Recogido por: Marco A. Guerrero		Localización: San José Solicitado por: Producción
<b>Datos de campo</b>		
pH: Temperatura del agua: °C Temperatura ambiente: °C Olor: Hora de recolección: 6:00 a. m.		Cloro residual: mg L-1 Estado del tiempo: Aspecto del agua: Caudal: L/s Elevación: m.s.n.m.
<b>Determinaciones fisicoquímicas</b>		
Color verdadero: 0 U.Pt/Co	mg L-1	
Turbiedad: 0,80 UNT	Calcio:	
Sólidos en suspensión sedimentables mL/hora	Dureza de magnesio:	
Sedimento	Magnesio:	
Olor a: Negativo	Hierro total:	
pH: 6,90	Sulfatos: 19	
pH de saturación: 7,80	Acidez:	
Índice de saturación: -0,90	Cloruros:	
Índice de agresividad:	Fluoruros:	
mg L-1	Sílice:	
Alcalinidad a la fenolftaleína: 0	Nitratos:	
Carbonatos: 0	Zinc:	
Alcalinidad total: 48	Cobre:	
Bicarbonatos: 59	Manganeso:	
Dióxido de carbono: 12	Plomo:	
Dureza total: 55	Conductividad:	
Dureza de carbonatos: 48		
Dureza de no carbonatos: 7		
Dureza de calcio:		
Observaciones: Color aparente 7,5 U.Pt/Co. Las variables fisicoquímicas determinadas cumplen con las normas establecidas para aguas con tratamiento.		
Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:

## **ANEXO 06**

### **PRUEBAS EN LOS PROCESOS**

El cuadro 6.1 contiene las pruebas usuales de control de procesos.

**Cuadro 6.1. Parámetros de control de procesos**

Ensayo	Entrada a la planta	Salida de decantadores	Salida de filtros
Temperatura	X		
Turbiedad	X	X	X
Color	X	X	X
Sabor y olor	X		
Alcalinidad	X	X	X
pH	X	X	X
Índice de saturación			X
Cloro residual			X
Prueba de jarras	X		

Los límites de calidad recomendados se indican en el cuadro 6-2.

Cuadro 6-2. Límites recomendados para la turbiedad*		
Lugar	Límite recomendable	Máximo aceptable
Antes de la filtración	5	15-20
Después de la filtración	1**	5

\*En unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).  
\*\*Para desinfección óptima.

**Cuadro 6-3. Puntos de muestreo**

Análisis	A. cruda	A. decantada	A. filtrada	Salida del reservorio
Turbiedad	X	X	X	X
Color	X	X	X	X
pH	X	X	X	X
Sabor, olor	X			X
Alcalinidad	X	X	X	X
Dióxido de carbono	X	X	X	
Dureza total	X	X	X	
Dureza de calcio	X	X	X	

Dureza de magnesio	X	X	X	
Calcio	X	X	X	
Magnesio	X	X	X	
pH de saturación	X			X
Cloro residual				X
Sulfatos	X	X	X	
Cloruros				X
Hierro total	X		X	
Manganeso	X		X	
Cobre				X
Aluminio	X			X
Constituyentes inorgánicos	X			X
Constituyentes orgánicos	X			X
Radiación	X			X

<sup>1</sup> Actualmente existe la tendencia a la simplificación del control de calidad bacteriológica eliminando el análisis de coliformes totales.

**Cuadro 6-4. Frecuencia de análisis fisicoquímicos**

Análisis	Frecuencia según ubicación de la planta	Una vez cada seis meses	Una vez al año
Turbiedad	X		
Color	X		
pH	X		
Sabor, olor	X		
Alcalinidad	X		
Dióxido de carbono	X		
Dureza total	X		
Dureza de calcio	X		
Dureza de magnesio	X		
Calcio	X		
Magnesio	X		
pH de saturación	X		
Cloro residual	X		
Sulfatos	X		
Cloruros		X	
Hierro total*		X	
Manganeso*		X	

Cobre* Aluminio		X	X
Constituyentes inorgánicos* Constituyentes orgánicos*			X X
Radiación*			X

\* La frecuencia de muestreo de estas variables deberá ser mayor si se sospecha de la existencia de alguna fuente de contaminación que pueda introducirlas al abastecimiento de agua.



# FOTOS



**FOTO 01**  
**CAPTACION DEL CANAL**



**FOTO 02**  
**DESARENADOR**



**FOTO 03**  
**INGRESO AL DESARENADOR**



**FOTO 04**  
**SALTO HIDRAULICO**





**FOTO 05**  
**MEZCLA RAPIDA**



**FOTO 06**  
**CANALETA PARSHALL**



**FOTO 07**  
**FLOCULADOR Y SEDIMENTADOR**



**FOTO 08**  
**SEDIMENTADOR EN MANTENIMIENTO**





**FOTO 09**  
**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIAL**



**FOTO 10**  
**BATERIA DEL POZO DE AGUA**



**FOTO 11**  
**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA**