

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“SELECCIÓN DE INSTRUMENTACION ANALITICA ON-LINE PARA
OPTIMIZAR LOS PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO QUIMICO

POR LA MODALIDAD DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

JULIO CESAR RODRIGUEZ VALENCIA

Lima – Perú

2008

Dedico el presente informe de ingeniería a mis Padres por su confianza y apoyo constante.

Agradezco a mis profesores de la FIQT:
Ing. Emerson Collado, Ing. Víctor León y
Ing. José Huapaya, cuyas enseñanzas me
sirvieron de inspiración para el desarrollo
de mi carrera profesional.

RESUMEN:

En el presente informe de competencia se describen los criterios para la selección de la instrumentación analítica on-line recomendada para una Planta de Tratamiento de Agua Potable para asegurar una operación eficiente de los procesos, un control de calidad adecuado y el consecuente ahorro de costos. Se hacen recomendaciones en base a la experiencia y el conocimiento adquirido durante el desarrollo profesional del autor.

En los primeros capítulos se describe el proceso típico de una planta de tratamiento de agua para consumo humano. Se describe etapa por etapa el proceso de tratamiento, los puntos críticos de control, se detalla cada una de las aplicaciones de los parámetros analíticos de mayor importancia como son: Turbidez, Cloro Residual y pH.

En un capítulo posterior se describen los principios de medición de cada uno de estos parámetros, los métodos de calibración, el equipamiento que comprende a la medición On-Line de cada uno de estos equipos y el montaje en línea.

En otro capítulo, se describen las consideraciones para seleccionar la instrumentación on-line, los criterios de compra, etc.

En el capítulo final se desarrolla la importancia que tiene el monitoreo on-line de estos parámetros, sobretodo al final de la planta en las redes de distribución de agua en donde cualquier cambio en las características del agua potable debe ser tomada en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

En las conclusiones finales se muestran los puntos más importantes tomados en cuenta en este informe así como consideraciones finales en la comparación del monitoreo de laboratorio vs. on-line.

ÍNDICE:

	PAG
I INTRODUCCION	1
II ÓRGANO EMPRESARIAL	2
III RELACION PROFESIONAL - EMPLEADOR	4
IV TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO	5
V DESARROLLO DE UNA ACTIVIDAD PROFESIONAL	10
5.1. Calidad Pobre de Agua	10
5.2. Tratamiento de Agua para Consumo Humano	12
5.2.1. Pre – Tratamiento	14
5.2.1.1. Ingreso a Planta	14
5.2.1.2. Mezcladores Flash	15
5.2.1.3. Tanque de Floculación	16
5.2.1.4. Aplicación	16
5.2.2. Desinfección Primaria	16
5.2.2.1. Ventajas del Tratamiento con Ozono	19
5.2.2.2. Aplicación	19
5.2.3. Coagulación, Floculación y Decantación	21
5.2.3.1. Coagulación y Floculación	21
5.2.3.1.1. Sustancias Químicas Utilizadas	21
5.2.3.1.2. Propiedades de los Coagulantes	22
5.2.3.1.3. Efectos del pH	23
5.2.3.1.4. Aplicación.	24
5.2.3.2. Decantación	26
5.2.3.2.1. Mecanismos de Decantación	28
5.2.3.2.2. Aplicación	28
5.2.4. Filtración	30
5.2.4.1. Aplicación	32
5.2.5. Desinfección Secundaria	34

5.2.5.1. Aplicación	37
5.2.5.1.1. Tipos de Control	38
5.2.5.1.1.1. Control de Lazo Compuesto	38
5.2.5.1.1.2. Control Residual Directo	39
5.2.5.1.1.3. Control Flujo Proporcional	39
5.2.5.1.1.4. Control Set-Point Trim	40
5.3. Instrumentación Típica para el Monitoreo y Control del Tratamiento de Agua para Consumo Humano	41
5.3.1. Medición de la Turbidez	42
5.3.1.1. Teoría de la Desviación de la Luz	42
5.3.1.2. Descripción General de un Turbidímetro	45
5.3.1.3. Estándar Primario de Formazina	47
5.3.1.4. Calibración y Medición a Bajos Valores	48
5.3.1.5. Unidades de Turbidez	49
5.3.2. Medición del pH	49
5.3.2.1. Nomenclatura del pH	49
5.3.2.2. ¿Cómo es medido el pH?	51
5.3.2.3. Electrodo de pH	52
5.3.2.4. Ecuación de Nerst	54
5.3.2.5. Necesidad de Medición de Temperatura	55
5.3.2.6. Error del Ión Sodio	56
5.3.2.7. Consideraciones para el Electrodo de Vidrio en Aplicaciones con Acido Fluorhídrico	58
5.3.2.8. Electrodo de Referencia	58
5.3.2.9. Recubrimientos en el Sensor de pH y Limpieza	59
5.3.2.10. Buffers	60
5.3.2.11. Calibración	61
5.3.3. Medición del Cloro Libre	63
5.3.3.1. Uso del Cloro	63

5.3.3.2. Química del Cloro	64
5.3.3.3. Medición del Cloro Residual	65
5.4. Seleccionando Analizadores de Proceso	67
5.4.1. ¿Qué tipo de Instrumento comprar?	67
5.4.2. ¿Qué características harán el trabajo y las operaciones más fáciles?	68
5.4.3. ¿Cómo decidir el Instrumento a comprar?	70
5.5. Medición Continua On-Line ayuda a mantener el agua segura	70
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
VII. BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE TABLAS:

Tabla	Descripción	PAG.
1	Criterios de Calidad de Agua Potable	13
2	Cuadro Comparativo de Desinfectantes para inactivar al 99.99% Quistes de Giardia	18
3	Instrumentación Analítica en una Planta de Tratamiento de Agua	41
4	Comparación de Métodos: USEPA 180.1 y ISO 7027	46
5	Valores de pH de algunas soluciones	50

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico	Descripción	PAG.
1	Sistema Modular de Monitoreo Multi – Parámetros	11
2	Diagrama de una Planta de Tratamiento de Agua Potable por el Método Convencional	12
3	Etapa de Tratamiento Inicial	14
4	Bocatoma N° 1 - Planta La Atarjea	15
5	Sólidos separados - Planta La Atarjea	15
6	Prueba de Jarras	15
7	Dosificación de Coagulantes	15
8	Microorganismos encontrados en el agua cruda.	16
9	Sistema Desinfección Primaria – Planta La Atarjea	17
10	Monitoreo en cámaras de ozono típico	20
11	Esquema de monitoreo y control de ozono	20
12	Etapa de Floculación	23
13	Monitoreo del pH en Etapa de Coagulación	25
14	Decantador rectangular con sistema recolección con tuberías perforadas	27
15	Decantador Circular Tipo Floculador - Clarificador	27
16	Esquema de un Filtro Rápido de Gravedad c/Falsos Fondos	31
17	Lavados de Filtros	32
18	Sala de Cloración	35
19	Sistema de Cloración al Vacío	36
20	Cámara de contacto de cloro (vista planta)	37
21	Modo de Control Tipo Compuesto	38
22	Modo de Control Tipo Residual Directo	39
23	Modo de Control Tipo Alimentación Directa	40
24	Modo de Control Tipo Set Point - Trim	41
25	Desviación de la Luz debido a las partículas	43

Gráfico	Descripción	PAG.
27	Esquema de un Nefelómetro	45
28	Sistemas de Análisis de Turbidez en línea	46
29	Preparación de la Formazina	47
30	Patrones de Calibración de Formazina HACH	47
31	Valores de pH vs. Concentración Iónica	51
32	Sistema de medición de pH	53
33	Componentes del electrodo de medición de vidrio	53
34	Relación pH vs. mV	54
35	Salida del Electrodo de Vidrio de pH	55
36	Tamaño relativo de los iones	56
37	Error del ion sodio	57
38	Componentes del Electrodo de Referencia	59
39	Valores de pH vs. % Concentración de HOCl y OCl ⁻	64
40	Analizador de Cloro Residual con Reactivos	65
41	Analizadores de Cloro Residual Tipo Amperométrico, Rosemount y Hach.	66
42	Monitoreo de Calidad de Agua On-Line	72

I. INTRODUCCION

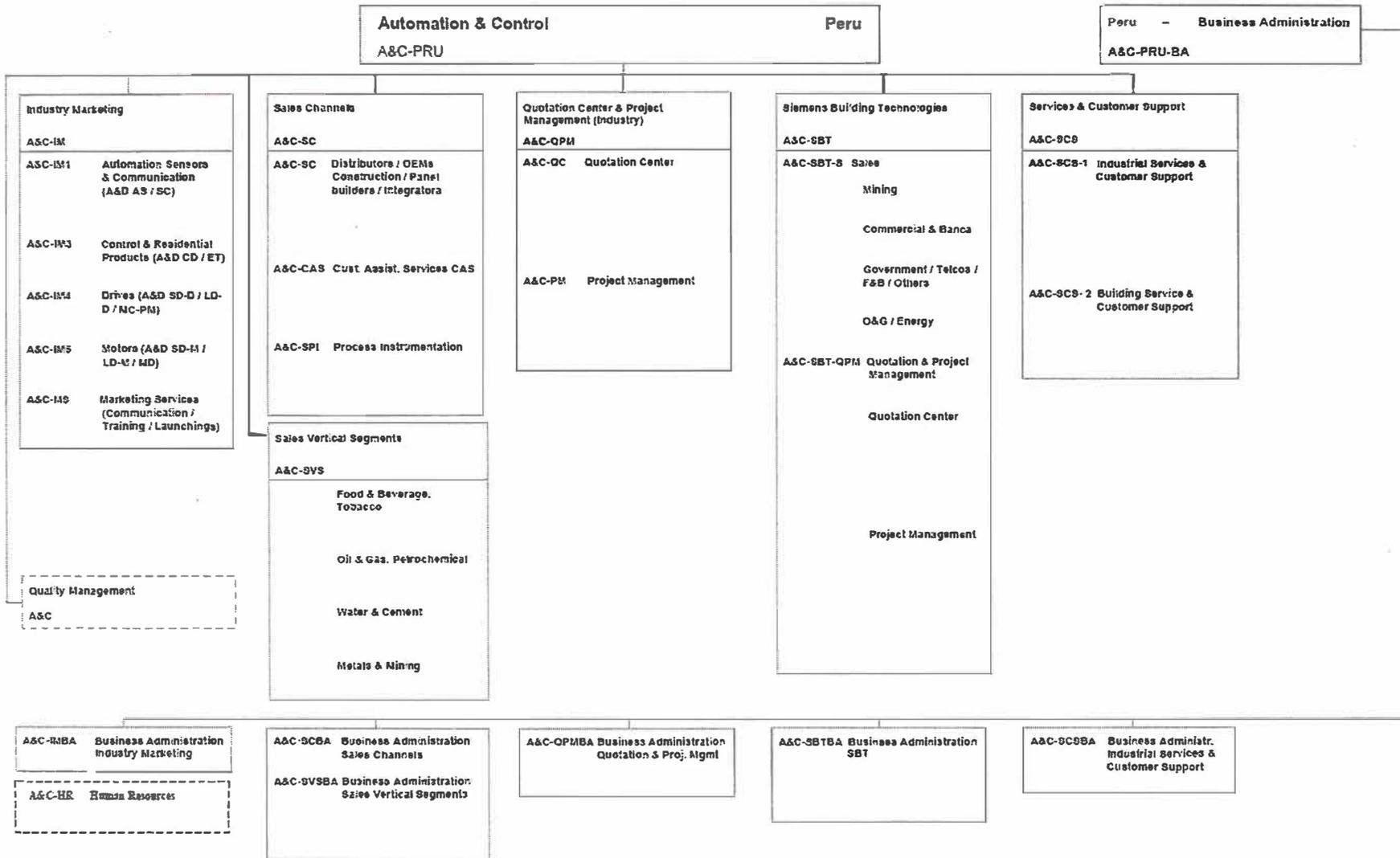
SIEMENS WATER TECHNOLOGIES es el líder mundial en productos, sistemas y soluciones para el tratamiento de agua. Desde el agua potable, agua industrial, transporte de agua y aguas residuales, SIEMENS tiene las respuestas para el tratamiento del agua, instrumentación / automatización de la planta, sistemas eléctricos, tecnología de la construcción y los servicios de requeridos desde el financiamiento, diseño, planeamiento, comisionamiento, mantenimiento y soporte de emergencia para la modernización.

Cada día miles de compañías alrededor del mundo confían en SIEMENS para ayudarles a encontrar sus necesidades de agua limpia. Diversos clientes desde empresas de Tratamiento de Aguas Municipales, Alimentos y Bebidas, Petróleo y Gas, Compañías Mineras, etc., ya sea para ampliaciones de plantas ó nuevas plantas, todas requieren en algún punto de su proceso el tratamiento de agua para seguir operando con alta eficiencia de producción, calidad, bajos costos, y seguridad.

II. EL ÓRGANO EMPRESARIAL

- a) Empresa: SIEMENS S.A.C.
- b) Rubro: Fabricante y Proveedor de Sistemas y Soluciones para la Automatización de Procesos, Tecnologías para el Tratamiento de Aguas.
- c) Dirección: Av. Domingo Orué 971 - Surquillo
- d) Organigrama de la Empresa (ver página siguiente).

Organigrama de la Empresa



III. RELACION PROFESIONAL – EMPLEADOR

a) Perfil del Personal Requerido

SIEMENS es una empresa dedicada a la Automatización de Procesos, Generación de Energía, dentro de las cuales se encuentran soluciones específicas para diversos sectores industriales y procesos como los encontrados en el Tratamiento de Aguas. Para el rubro de Soluciones para el Tratamiento de Aguas se requiere una persona que posea habilidades para la venta de proyectos, habilidades para relacionarse a todo nivel, y conocimientos y experiencias técnicas relacionadas con el tratamiento de aguas, procesos industriales, y conocimientos de instrumentación / automatización de procesos.

b) Condiciones de Trabajo

Los horarios de trabajo son: Lunes a Viernes de 8:30 a 17:30.

c) Documentos Probatorios (ver copias adjuntas)

IV. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO

SIEMENS S.A.C.

Rubro: Fabricante y Proveedor de Sistemas y Soluciones para la Automatización de Procesos, Tecnologías para el Tratamiento de Aguas

Cargo: Ingeniero de Procesos / Water Technologies

Dirección: Av. Domingo Orué 971 - Surquillo

Período: Junio 2006 a la Fecha.

Funciones:

- Asesoría Técnica para la Selección de Tecnologías, Soluciones, Equipamiento para proyectos en los cuales se involucre el tratamiento de agua.
- Ventas Técnicas de Proyectos de Tratamiento de Agua para Uso Industrial, Procesos, Potable y Aguas Residuales.
- Participación en Ferias y Eventos, Asistente a FERIA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – WEFTEC 2007 en San Diego – California (USA), Co-Organizador de I Congreso de Tratamiento de Agua – SIWA 2006 / Hotel Sheraton, II Congreso de Tratamiento de Agua – SIWA 2007 / Auditorio Principal de SEDAPAL.

Principales actividades profesionales realizadas

- Instrumentación On-Line de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, Aguas Residuales en diversos proyectos para la ciudad de Lima - SEDAPAL.

- Selección de instrumentación para sistemas de redes de distribución de agua y desagüe, pozos, cámaras de bombeo y reservorios en la ciudad de Lima - SEDAPAL.
- Toma de Muestras, Análisis de Datos, Puesta en Marcha y Comisionamiento de (2) Filtros Banda usados para la recuperación de Agua de Procesos para Reuso en una Planta Papelera - PROTISA.
- Selección, Venta, Manejo de Proyectos, de un sistema de Filtración tipo Cáscara de Nuez para la remoción de petróleo en agua de un Sistema de Reinyección de Agua en una planta de producción de petróleo - PETROBRAS.
- Planta de Preparación y Dosificación de Cal para el Tratamiento de Aguas Acidas en Planta Minera, análisis de datos, selección de equipos, verificación de procesos, etc. - DOE RUN.
- Plantas de Destrucción de Soda Desgastada en Refinerías, toma de muestras, análisis de datos, preparación de ofertas - PETROPERU.
- Análisis de Datos, Selección de Equipos para la separación de Petróleo – Agua con Sistemas de DGF – API para Refinería de Petróleo - PETROPERU.

ECOLOGIA Y CIENCIA S.R.L.

Rubro: Venta de Instrumentación de Procesos

Cargo: Jefe del Dpto. Técnico – Comercial

Dirección: Av. Calle Manco Segundo 2338 - Lince

Período: Enero 2005 hasta Mayo 2006

Funciones:

- Venta y Asesoría Técnica de Equipos para la Instrumentación de Procesos Industriales y Plantas de Tratamiento de Agua Potable y de Aguas Residuales (HACH / GLI / HYDROLAB / AMERICAN SIGMA, Flujo, Nivel, Presión, Temperatura)

- Manejo de Equipo de Ventas y Servicio Técnico, obtención de metas de ventas, búsqueda de nuevos mercados para los productos, Venta de Equipos a empresas públicas y privadas.
- Participación en Ferias y Eventos, Jefe de Stand en Feria EXTEMIN 2005 – Arequipa.

Principales actividades profesionales realizadas:

- Selección y Venta de Instrumentación On-Line (Analizadores de OD, pH, Cloro Residual, Turbidez, Sólidos Suspendidos, Caudalímetros Ultrasónicos, Magnéticos, etc.) de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, Aguas Residuales – Diversos Proyectos en SEDAPAL.
- Analisis de datos, selección de equipos, diseño de accesorios de montaje, venta, instalación y puesta en marcha de analizadores de oxígeno disuelto en una planta Merrill Crowe en Planta Minera – Barrick – PIERINA.
- Selección y Venta de Instrumentación Analítica (Analizadores de pH, ORP, Conductividad, Turbidez) para Plantas de Agua de Osmosis Inversa para uso como agua de proceso en Planta Minera Yanacocha.
- Selección, Venta, Montaje y Puesta en Marcha de Analizadores de Sólidos Suspendidos en Tanques de Concentrado en Compañía Minera Antamina.
- Selección, Venta, Montaje y Puesta en Marcha de Analizadores de Alta Turbidez para soluciones petróleo/agua en Planta de Reinyección de Agua en Compañía Petrolera PETROBRAS.
- Selección, Venta, Montaje y Puesta en Marcha de Analizadores de Turbidez / Sólidos Suspendidos para el Monitoreo de Calidad de Agua en Represa en Planta Hidroeléctrica. - EGEMSA
- Selección, Venta, Montaje y Puesta en Marcha de Analizadores de pH para soluciones agresivas de concentrado de minerales en procesos

mineros – Diversas Compañías Mineras: CM Santa Luisa, CM Volcán, EM Los Quenuales, CM DOE RUN, CM ARES.

- Selección, Venta, Montaje y Puesta en Marcha de Analizadores de pH para soluciones agresivas en Planta de Producción de Acido Clorhídrico, Soda Cáustica, Fosfatos – QUIMPAC.

OMEGA PERU S.A.

Cargo: Asesor Técnico – Comercial / División Procesos

Rubro: Instrumentación de Procesos

Dirección: Av. Arequipa 4650 – San Isidro

Período: Febrero 2003 hasta Diciembre 2004

Funciones:

- Venta y Asesoría Técnica de Equipos para la Instrumentación de Procesos Industriales y Plantas de Tratamiento de Agua Potable y de Aguas Residuales (HACH / GLI / AMERICAN SIGMA)
- Participación en Ferias y Eventos, Asistente a FERIA INTERNACIONAL DEL AGUA – AWWA 2004, en Orlando Florida (USA); JEFE de Stand en Feria EXTEMIN 2003 – Arequipa.

Principales actividades profesionales realizadas:

- Selección y Venta de Instrumentación On-Line (Analizadores de OD, pH, Cloro Residual, Turbidez, Sólidos Suspendidos, Caudalímetros Ultrasónicos, Magnéticos, etc.) de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, Aguas Residuales – Diversos Proyectos en SEDAPAL.
- Venta y Selección de Analizadores de Dureza On – Line para monitoreo y control en sistema de Ablandadores en una Planta Textil – SAN MIGUEL INDUSTRIAL.

CENTRO PAPELERO - GRUPO GLORIA S.A.

Rubro: Pulpa, Papel y Cartón

Cargo: Supervisor de Aseguramiento de Calidad

Dirección: Av. La Capitana s/n - Huachipa

Período: Noviembre 2000 hasta Abril 2002

Funciones

- Supervisión, Monitoreo de Insumos, Producto en Proceso y Producto terminado en planta PAPEL y planta ACABADOS, Trabajo en Turnos Rotativos, Manejo de Personal, participación en la implantación del Sistema ISO9002.

V. DESARROLLO DE UNA ACTIVIDAD PROFESIONAL

El agua es un compuesto necesario para la actividad humana en el planeta, incluyendo la agricultura, la industria y el uso doméstico. Desafortunadamente, la calidad de agua alrededor del mundo es pobre y su obtención tiene un costo importante. Mientras la tierra esta cubierta en más del 70% en agua, sólo cerca del 0.01% es usable como agua dulce. Y desde que la demanda de agua se incrementa con el crecimiento de la población, el reuso del agua y apropiados métodos de tratamiento son una necesidad crítica.

5.1. Calidad pobre de agua:

Entendiendo el Proceso

Las plantas de tratamiento de agua vienen en una variedad de tamaños, no existe más de dos plantas exactamente iguales. Pero ya sean tanto públicas como privadas, todas comparten el mismo propósito: proveer de una fuente de agua potable confiable y segura para las comunidades.

El tratamiento del agua varía según la calidad de agua de ingreso, tamaño de la planta, y si el agua fuente es de pozo o superficial. Pequeños sistemas son usados comúnmente para agua de pozo, mientras sistemas más grandes usan aguas superficiales tal como las de los ríos o lagos.

Como el agua viaja a través del subsuelo, o lugares como lagos o ríos, ésta toma contacto con materiales orgánicos, los cuales se disuelven en ella. Estos orgánicos en el agua hacen de fuente de alimento para los microorganismos. Con frecuencia los más pequeños ingresos de nutrientes apoyarán el crecimiento. Mientras eso es una buena noticia para los microorganismos (como la Giardia Lamblia o el protozoo Cryptosporidium), esto puede ser dañino o frecuentemente letal para los humanos.

Algunas pequeñas plantas de tratamiento que usan sistemas de aguas subterráneas pueden cumplir las reglamentaciones ambientales sin tratamiento alguno, pero muchos otros sistemas necesitan desinfección y tratamiento adicional.

Una combinación apropiada de sistemas de tratamiento es seleccionada por los responsables de las plantas de tratamiento de agua, para tratar los contaminantes que traen las fuentes de agua cruda usadas. Procesos comúnmente usados incluyen pre-tratamiento, desinfección primaria, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, y desinfección secundaria. A través de estos procesos, hay varias “buenas prácticas” analíticas que ayudan a cumplir a las plantas a reducir costos, mejorar la calidad de agua, cumplir con las legislaciones ambientales y gubernamentales y ayudan a asegurar la seguridad del suministro de agua. Otros métodos de tratamiento podrían incluir intercambio iónico, osmosis inversa, y adsorción, para el presente informe nos enfocaremos en el método de tratamiento convencional.

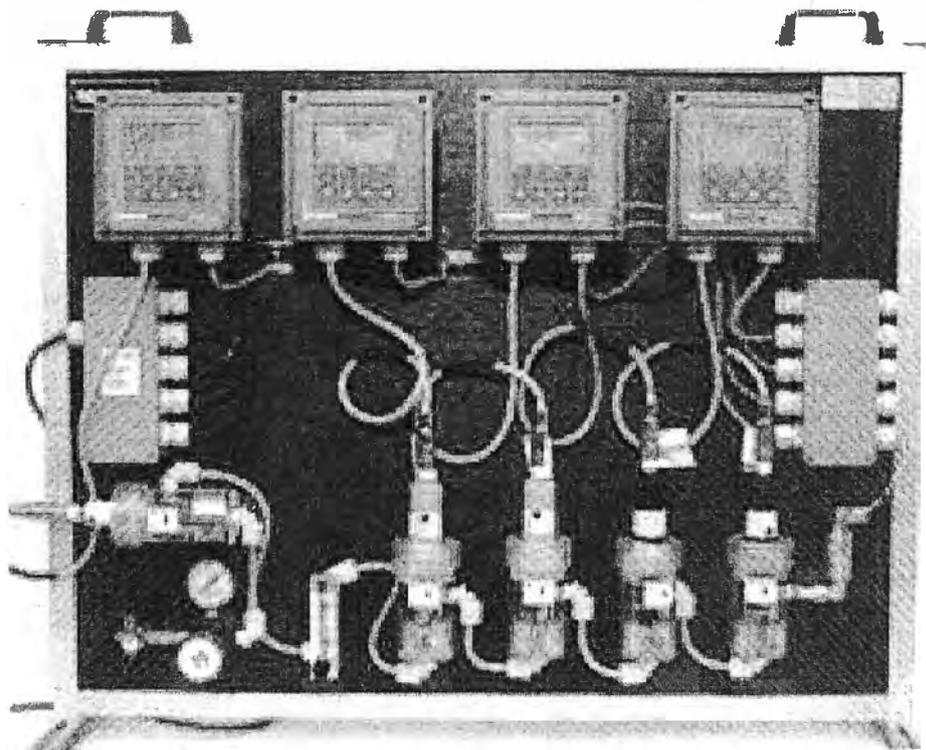


Figura 1. Sistema Modular de Monitoreo Multi – Parámetros

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

- **Higiénico:** remover bacterias y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la mineralización excesiva y las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, protozoarios y otros microorganismos.
- **Estético:** corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor.
- **Económico:** reducir la corrosividad, la dureza, el color, la turbidez, reducir las concentraciones de hierro y manganeso, resolver problemas de olor y sabor, etcétera.

5.2. Tratamiento de Agua para Consumo Humano

La figura muestra una planta de tratamiento de agua potable típica. Ésta toma agua de un lago, río o pozo y la trata a través de una desinfección primaria, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección secundaria para purificarlas hasta obtener un agua potable segura.

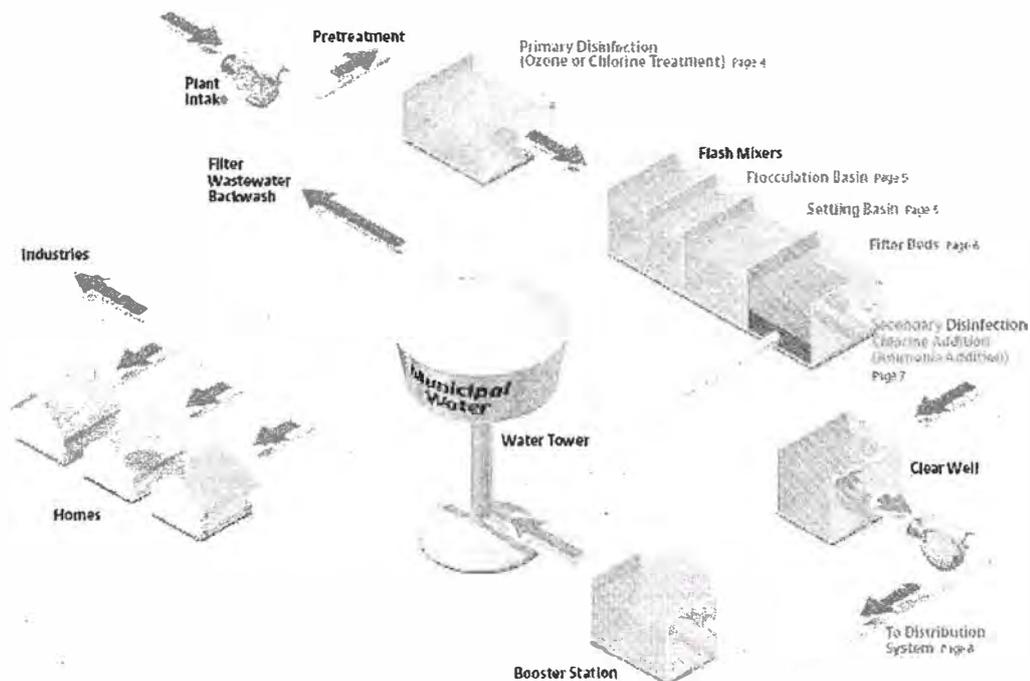


Figura 2. Diagrama de una Planta de Tratamiento de Agua Potable por el Método Convencional

TABLA 1. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá - 1978	Guidelines for Drinking Water Quality OMS, 1996
Unidades		Nivel Máximo del Contaminante	Concentración Máxima Aceptable	Valor Guía
Físicos				
Color	TCU	---	15	15
Sabor y olor		Aceptable	---	Aceptable
Turbiedad	NTU	5	5	5
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	---	---	0.2
Amonio	mg/L	---	---	1.5
Antimonio	mg/L	0.006	---	1.5
Arsénico	mg/L	0.05	0.05	0.01
Bario	mg/L	2.0	1.0	0.7
Boro	mg/L	---	5.0	0.3
Cadmio	mg/L	0.005	0.005	0.003
Cianuro	mg/L	0.2	0.2	0.07
Cinc	mg/L	---	5.0	3
Cloro	mg/L	---	---	5
Cloruro	mg/L	---	250	250
Cobre	mg/L	1.3	1.0	2
Cromo (total)	mg/L	0.1	0.05	0.05
Fluoruro	mg/L	4	1.5	1.5
Hierro	mg/L	---	0.3	0.3
Manganeso	mg/L	---	0.05	0.05
Mercurio	mg/L	0.002	0.001	0.001
Nitrato (como N)	mg/L	10	10	50
Nitrito (como N)	mg/L	1	1	3
pH	---	---	6.5 – 8.5	---
Plata	mg/L	---	0.05	---
Plomo	mg/L	0.015	0.05	0.01
Selenio	mg/L	0.05	0.01	0.01
Sulfato	mg/L	---	500	250
Sulfuros (H ₂ S)	mg/L	---	0.05	0.05
Sólidos Disueltos	mg/L	---	500	1000

FUENTE: Canepa de Vargas L., “Manual I: Teoría - Tratamiento de Agua para Consumo Humano”, 2da Edición, Editorial OPS / CEPIS, Lima, Año 2006, Capítulo 2: Calidad del Agua, Pág.: 14.

Organismos dañinos son eliminados por una combinación de ozono, cloro y adición de amonio. El proceso de desinfección es monitoreado y controlado por una medición continua de ozono y/o cloro. Las partículas son removidas y filtradas, y requieren medición de turbidez continua para propósitos de reporte e indicación de la performance de los filtros. Los contadores de partículas están ganando más aceptación desde que ellos proveen una medición cuantitativa de la claridad del agua y están siendo usados para anticipar la ruptura de filtros.

5.2.1. Pre-Tratamiento

Para mejorar la definición de la dinámica de la fuente de agua cruda a ser usada por una planta de tratamiento de agua, un número de mediciones analíticas del líquido son hechas antes de ingresar al proceso de tratamiento. Mediciones de monitoreo del influente podrían incluir pH, conductividad, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, y carbono orgánico total (TOC). Algunas plantas también mantienen un registro permanente de cada uno de estos parámetros para futuras referencias o para detección estacional de los cambios en la fuente de agua.

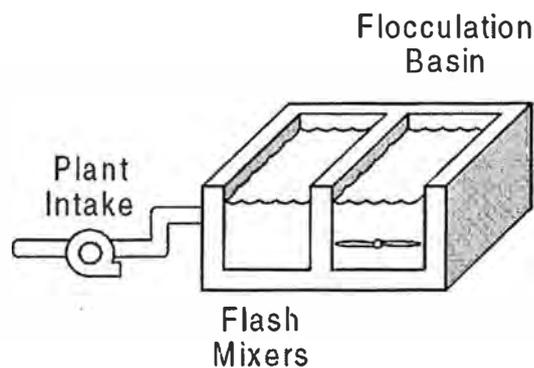


Figura 3. Etapa de Tratamiento Inicial

5.2.1.1. Ingreso a Planta

El agua es bombeada hacia la planta desde la fuente de agua cruda. Si es necesario, el ingreso de agua es pasado a través de unas rejas para remover restos

grandes (hojas, ramas, etc...). En muchos casos, el pre-tratamiento con un oxidante como cloro o ozono, es usado para destruir contaminantes microbiológicos y materiales oxidables los cuales pueden causar problemas de sabor y olor.

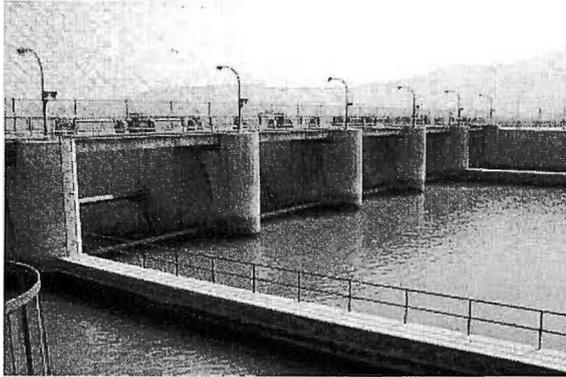


Figura 4. Bocatoma N° 1 - Planta La Atarjea



Figura 5. Sólidos separados - Planta La Atarjea

5.2.1.2. Mezcladores Flash

Un coagulante, tal como alúmina o cloruro férrico es añadido dentro de los mezcladores flash para promover la formación de “flocs”. Para la optimización de este proceso se realizan ensayos en laboratorio llamados: “Prueba de Jarras”, en donde se obtienen importantes parámetros de operación: Tiempo de Sedimentación, Concentración del Coagulante / Floculante, Agitación Mecánica y pH. Además, Hipoclorito de Sodio o Calcio puede ser también añadidos para controlar olor y sabor.



Figura 6. Prueba de Jarras

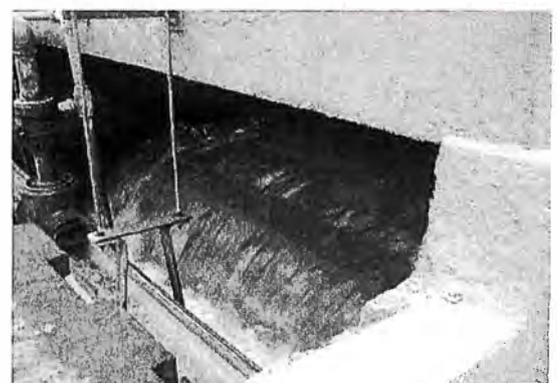


Figura 7. Dosificación de Coagulantes

5.2.1.3. Tanque de Floculación

El agua es mezclada por al menos 30 minutos con un mezclador de paletas girando para crear una mezcla suave y uniforme y no romper los flocs formados en la etapa anterior. Otros químicos pueden ser añadidos para ajustar la acidez del agua, creando las condiciones óptimas para la formación de flocs.

5.2.1.4. Aplicación: Monitorear la **turbidez** en este punto ayudará al operador a detectar una condición de incremento que podría reducir la efectividad de los métodos normales de tratamiento. Usando la medición de calidad de agua de ingreso, el operador puede hacer un informe sobre el método de tratamiento a usar. Se recomienda utilizar (1) turbidímetro de alto rango en el ingreso a planta (rango: 0 – 10,000 NTU para aguas de río como la del Río Rímac) y uno de rango medio después del pretratamiento.

5.2.2. Desinfección Primaria

Desde que el agua es un solvente universal, este toma contacto con diferentes patógenos (bacterias, virus y parásitos protozoos), algunos de los cuales son bien conocidos y potencialmente letales. Ambas fuentes de aguas subterráneas y superficiales pueden ser contaminadas por estos patógenos, y su inactivación es realizada a través de una desinfección química y tratamiento de filtración mecánica.



Figura 8. Microorganismos encontrados en el agua cruda.

El cloro fué usado primero en USA en 1908 como un desinfectante químico del agua potable. La cloración es el método más común para la desinfección de agua potable. Este arrastra un residual a través del sistema de distribución, con ello las empresas de suministro de agua aseguran una capacidad de desinfección de su agua. Sin embargo, nuevas regulaciones en la industria del tratamiento del agua están apuntando a reducir la exposición de componentes indeseables formados por el cloro donde este reacciona con orgánicos naturales. Estos compuestos llamados THM's (trihalometanos), tienen sospecha cancerígena en humanos.

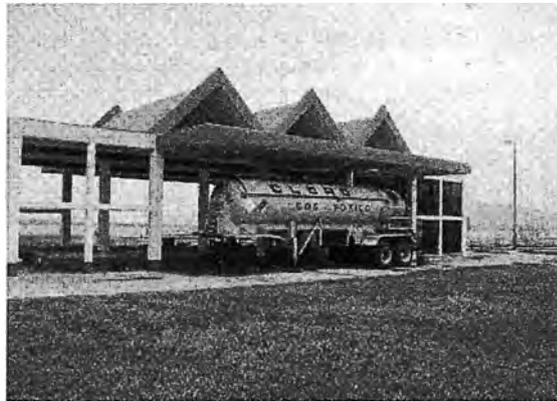


Figura 9. Sistema Desinfección Primaria – Planta La Atarjea

El ozono (O_3) es también un poderoso desinfectante, primero usado en el tratamiento de agua en Europa en 1886. El ozono consiste de tres átomos de oxígeno que se degrada a un radical libre de oxígeno el cual sobrevive menos de 30 minutos. La tasa de degradación depende de la química del agua, pH y temperatura. Desde que el ozono es inestable, este es generado en el sitio mismo de la operación.

El ozono es un oxidante muy fuerte y este desinfecta en menos tiempo que el requerido con cloro. El Ozono ataca la unión química de los patógenos en el agua, reduciendo la concentración de materia orgánica, hierro, manganeso, sulfuros, y reduciendo o eliminando problemas de olores y residuos. El cloro es un oxidante lento, tiene efecto limitado en las bacterias, y el *Cryptosporidium* y la *Giardia* son extremadamente resistentes a la desinfección con cloro (ver Tabla 2). El

tratamiento con ozono está ganando popularidad como una tecnología de tratamiento rápida y efectiva para la etapa de desinfección primaria, un sistema puede proveer agua segura biológicamente mientras trata con formas menos reactivas de cloro llamadas cloraminas. Las cloraminas son desinfectantes medibles y efectivos, pero debido a su baja reactividad, ellos no producen THM's en altas cantidades que el cloro libre produce.

TABLA 2. CUADRO COMPARATIVO DE DESINFECTANTES PARA INACTIVAR AL 99.9 % QUISTES DE GIARDIA

CT Values for Disinfectants to Inactivate 99.99% (3-logs) of Giardia Lamblia Cysts USEPA Guidance Manual to the SWTR ²						
Disinfectant	pH	<1°C	5°C	10°C	20°C	25°C
Free Chlorine at 2 mg/l ³	6	165	116	87	44	29
	7	236	165	124	62	41
	8	346	243	182	91	61
	9	500	353	265	132	88
Ozone	6-9	2.9	1.9	1.43	0.72	0.48
Chlorine Dioxide	6-9	63	26	23	15	11
Chloramine (performed ⁴)	6-9	3800	2200	1850	1100	750

² These CT values for free chlorine, ozone, and chlorine dioxide will guarantee greater than 99.99% inactivation of enteric viruses.

³ CT values will vary depending on concentration of free chlorine. Values indicated are for 2.0 mg/l of free chlorine. CT values for different free chlorine concentrations are specified in the Guidance Manual (U.S. EPA, 1990).

⁴ Obtaining 99.99% inactivation of enteric viruses with preformed chloramines requires CT values greater than 5,000 at temperatures of 1, 5, 10, and 15°C.

FUENTE: HACH Company (2004), Application Note AN-OZ1, "Ozone Monitoring in a Drinking Water Treatment Plant", www.hach.com

El aire ozonizado es burbujeado a través del agua en cámaras de contacto. Pasado el tiempo el agua que alcanza el final de las cámaras de contacto, la desinfección primaria es completada y el ozono se ha convertido en oxígeno. Las dosis necesarias para desinfectar el agua varían según la calidad de la misma de la siguiente manera:

- Para aguas superficiales de buena calidad bacteriológica, luego de la filtración, se requieren de 2 a 3 mg/L de ozono.
- Para aguas superficiales contaminadas, luego de la filtración, se debe aplicar entre 2,5 y 5 mg/L de ozono.

Se considera que el ozono es el desinfectante de mayor eficiencia microbiciada y requiere tiempos de contacto bastante cortos. Se ha demostrado que cuando el ozono es transferido al agua mediante un mezclador en línea sin movimiento, las bacterias son destruidas en dos segundos. Por ello, el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor importancia.

5.2.2.1. Ventajas del Tratamiento con Ozono

- El Ozono es un muy poderoso desinfectante, su potencial de oxidación es 2.07 voltios. Por comparación, el potencial de oxidación de hipoclorito es 1.49 voltios mientras que del Cloro es sólo 1.36 voltios (Towles, 1997).
- El ozono no crea residuales negativos tales como los THM's a menos que el bromo este presente
- El ozono se degrada inofensivamente retornando a oxígeno cuando la reacción alcanza un estado de equilibrio.
- La adición de ozono no afecta el pH del agua, donde los programas de control de la corrosión no son adversamente afectados.
- El CT (Tiempo de contacto) para la desinfección con ozono es mas corto que para los componentes de cloro y esta forma un microfloc sobre el contacto, en consecuencia mejora la coagulación y reduce la dosificación de coagulante.
- El ozono reduce el sabor, color y problemas de olores por oxidación de las algas y materiales humitos frecuentemente creados por ellas.

5.2.2.2. **Aplicación:** El monitoreo de ozono en las plantas de tratamiento de agua potable asegura un tiempo de contacto adecuado (CT) siendo este mejorado. El ozono es muy reactivo, y decae rápidamente en el agua. Por la construcción de

cámaras “blafeadas”, los niveles de ozono puede ser monitoreado tanto como el decaimiento toma lugar (ver figura 10).

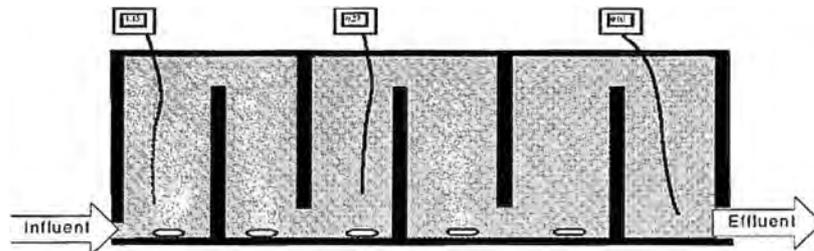


FIGURE 1 -- Typical Ozone Contact Chamber Monitoring

"Ozone, an Effective and Affordable Choice for Small Water Systems", GDT Corporation, Presented at the 1999 AWWA Annual Conference, Chicago, Illinois.

Figura 10. Monitoreo en cámaras de ozono típico

El propósito es mejorar bastante el tiempo de contacto tanto como sea posible, sin descargar ozono dentro del sistema de sistema de distribución. En muchas instalaciones, el proceso de deozonización toma lugar después de que un apropiado tiempo de contacto ha sido mejorado. La deozonización ó apagado puede ser mejorado con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), bisulfito de sodio o luz ultravioleta. Junto con el incremento del pH del agua, estos procesos pueden crear radicales hidrófilos (O_2), los cuales también ayudan a controlar olor y sabor.

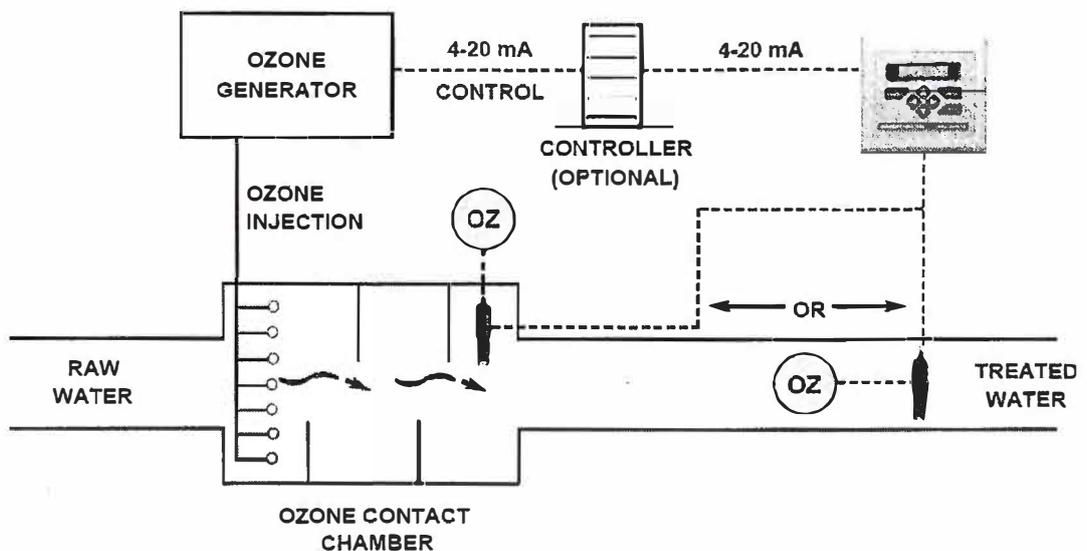


Figura 11. Esquema de monitoreo y control de ozono

5.2.3. Coagulación, Floculación y Decantación

Después del pre-tratamiento y desinfección primaria, la clarificación del agua cruda es usualmente un proceso de pasos múltiples para reducir la turbidez y sólidos suspendidos.

5.2.3.1. Coagulación y Floculación

Las impurezas que contiene el agua pueden estar en los siguientes estados:

- En suspensión.
- Disueltas.
- Suspensiones concentradas: en particular vegetales, restos de hojas, vegetales (macroscópicos), sílice, etcétera, que pueden flotar o sedimentarse fácilmente cuando el agua está en reposo.
- Suspensiones finas: turbidez, bacterias, plancton, etcétera.
- Coloidales: dureza, en parte (sales de calcio y magnesio).
- Hierro y manganeso no oxidados, etcétera.

La coagulación tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración. Tales aglomerados gelatinosos se agrupan y producen los flóculos (floculación).

5.2.3.1.1. Sustancias Químicas Utilizadas

Las sustancias químicas utilizadas en la coagulación se pueden clasificar en tres categorías:

- Coagulantes: compuestos de aluminio o de hierro que generalmente pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas.

- Alcalinizantes: cal viva (óxido de calcio), hidróxido de calcio, hidróxido de sodio (soda cáustica), carbonato de sodio (carbonato sódico), que pueden proporcionar la alcalinidad necesaria para la coagulación.
- Coadyuvantes de la coagulación: compuestos (arcilla, sílice activada, polielectrólitos, etcétera), que se pueden convertir en partículas más densas y hacer que los flóculos sean más firmes. Los coadyuvantes de fórmulas desconocidas se deben utilizar con mucha reserva porque en su composición pueden contener elementos no recomendables para la salud.

5.2.3.1.2. Propiedades de los Coagulantes

- Actúan con los álcalis para producir hidróxidos gelatinosos que contienen y absorben impurezas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción de la turbidez.
- Producen iones trivalentes de cargas eléctricas positivas, que atraen y neutralizan las cargas eléctricas de los coloides protegidos que, por lo general, son negativas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción del color.

El floc es mecánicamente agitado para arrastrar sólidos suspendidos y microorganismos. La medición de pH juega un rol importante en los procesos de coagulación. Manteniendo apropiados niveles se mejora el proceso de coagulación, disminuye la turbidez y también la remoción de TOC tanto como el pH es disminuido.

Si la fuente de agua cruda tiene una inusual carga de alta dureza, productos químicos como cal y sales de soda son añadidos para reducir los niveles de calcio y magnesio. El ablandamiento con cal puede producir agua desde 60 a 120 ppm de dureza, pero resultará en un alto pH. En consecuencia, el agua tratada es tamponada para reducir el pH para hacer esta aceptable para procesos posteriores.

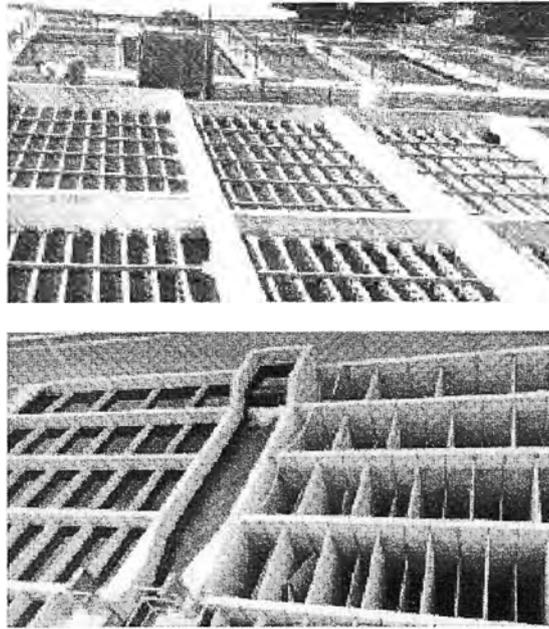


Figura 12. Etapa de Floculación

5.2.3.1.3. Efectos del pH

Las sales usadas para coagulación forman ciertos iones en solución que son responsables para que la coagulación ocurra. Sin embargo, los iones actuales producidos por estas sales dependen de un pH óptimo.

Una variación de los valores de pH de la muestra puede causar que el proceso de coagulación forme menos iones óptimos en solución. Un pH bastante bajo puede no permitir que el proceso de coagulación sea llevado, mientras un alto pH puede causar que una partícula coagulada se redisperse. El tamaño de las partículas coaguladas es también afectado por el pH, el cual determina la densidad del lodo floculado, su tendencia y tasa de sedimentación.

El pH óptimo para los procesos de coagulación y floculación pueden ser determinados experimentalmente. Este es específico para cada aplicación y depende de la muestra, los agentes de coagulación y floculación usados, la claridad deseada del agua, y el uso final del agua.

5.2.3.1.4. **Aplicación:** Entre los factores que influyen en la coagulación / floculación tenemos:

- a) Tipo de coagulante: de aluminio ó de hierro.
- b) Cantidad de coagulante. Esta cantidad tiene relación con dos factores:
 - La turbidez y el color que se va a remover.
 - La concentración bacteriológica.

Las dosis de coagulantes más adecuadas son las que reducen más la concentración bacteriológica y dan como resultado mayor economía en la desinfección.

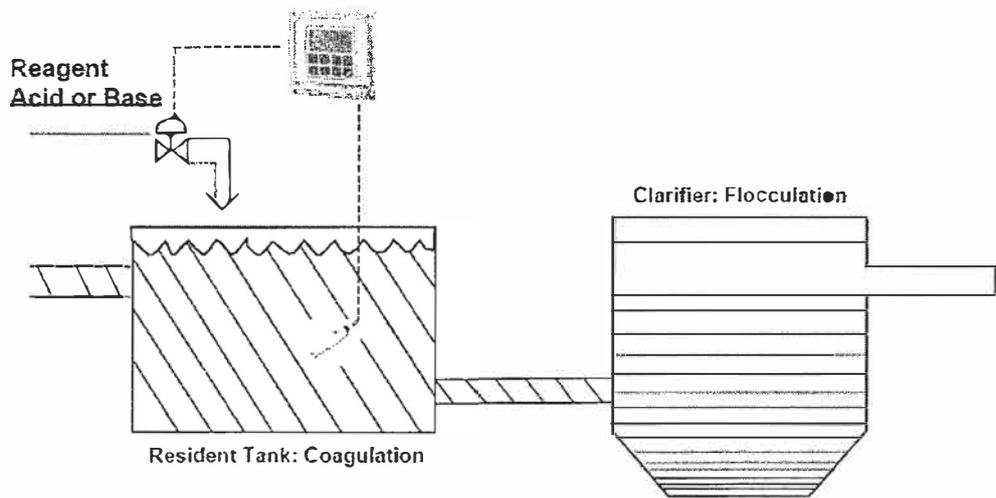
Hay tablas que relacionan la cantidad de coagulante con la de turbidez del agua. Sin embargo, la cantidad exacta solamente se puede determinar con una prueba. En esta investigación, el equipo de prueba de jarras es de gran ayuda.

- c) Concentración y tipo de color y turbidez:
 - Mayor o menor cantidad de coloides protegidos
 - Mayor o menor cantidad de partículas en suspensión
 - Sustancias coloreadas disueltas, etcétera.
- d) Otras características químicas del agua:
 - Alcalinidad natural
 - Concentración de hierro
 - Materia orgánica, etcétera.

Cada mg/L (ppm) de sulfato de aluminio aplicado actúa con 0,45mg/L (ppm) de alcalinidad.

- e) Concentración de iones-hidrógeno en el agua (pH):

- Hay un pH óptimo de floculación, que se determina experimentalmente. El control de pH de la muestra a clarificar también variará de aplicación en aplicación. Una muestra de residuo industrial, puede ser manejada en amplias variaciones de pH, requiriendo control de pH tipo paso, mientras una muestra de agua cruda para la producción de bebidas puede solo necesitar pequeños ajustes para variaciones menores en el pH y la alcalinidad.



⊞

Figura 13. Monitoreo del pH en Etapa de Coagulación

- En ciertos casos, una medición de pH puede ser requerida en el clarificador o después del clarificador para subsecuentes ajustes de pH. El sensor de pH puede ser expuesto al floculante, el cual puede formar un recubrimiento tenaz encima del sensor. Desde que el recubrimiento del polímero es orgánico, este puede ser limpiado rápidamente, el cual no ataca los materiales de construcción del sensor.
- f) Tiempo de retención de las unidades de mezcla rápida y lenta:
- Unidades de mezcla rápida: el tiempo deberá ser instantáneo y en este lapso se debe dispersar el coagulante de tal modo que la reacción de coagulación se produzca en toda la extensión de la masa líquida.

- Lenta: para la formación de flóculos (floculación). Aglomeración del material gelatinoso (coágulo) en partículas mayores que se decantan con mayor rapidez (flóculos).
- g) Temperatura: la coagulación es mejor cuando la temperatura es alta.
- h) Agitación: si hay poca velocidad en la agitación, la formación de flóculos disminuye y dificulta la decantación.
- i) Presencia de núcleos: los coadyuvantes de la floculación (aditivos de floculación) son sustancias que pueden impulsar núcleos más densos para obtener flóculos más pesados. Observación: el proceso de coagulación implica la dispersión del coagulante, su reacción con la alcalinidad para la formación del gel e inclusive la aglomeración de dicha gelatina para la formación del flóculo (floculación). En una planta de tratamiento de agua, tal fenómeno sucede de dos maneras distintas: mezcla rápida y mezcla lenta.

5.2.3.2. Decantación

La decantación es el proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad. Por lo general, las aguas en movimiento arrastran partículas granulares y materia floculenta que, por su carácter liviano, se mantienen en suspensión. La remoción de materiales en suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención. Este proceso se produce en los decantadores.

Los flocs sedimentan al fondo para formar un lodo en los tanques de sedimentación. El peso combinado de la suciedad y los agentes químicos se hacen bastante pesados para caer al fondo, y la sedimentación ocurre naturalmente tanto como las partículas grandes caen. El lodo es removido por mecanismos de barrido y una disposición apropiada. El agua es barrida desde la superficie del tanque de sedimentación y fluye dentro sedimentando en los canales de agua.

El decantador es un tanque generalmente de sección rectangular o circular, cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga. Este tanque posee dispositivos de entrada y salida del agua, previstos para evitar cortocircuitos y zonas muertas y obtener una mejor distribución del líquido en el interior de la unidad.

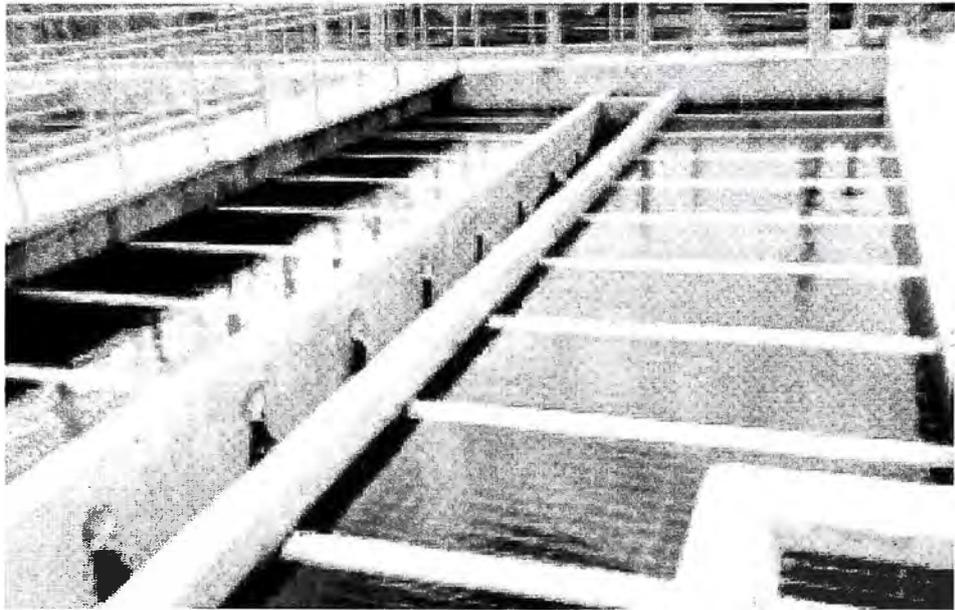


Figura 14. Decantador rectangular con sistema recolección de tuberías perforadas

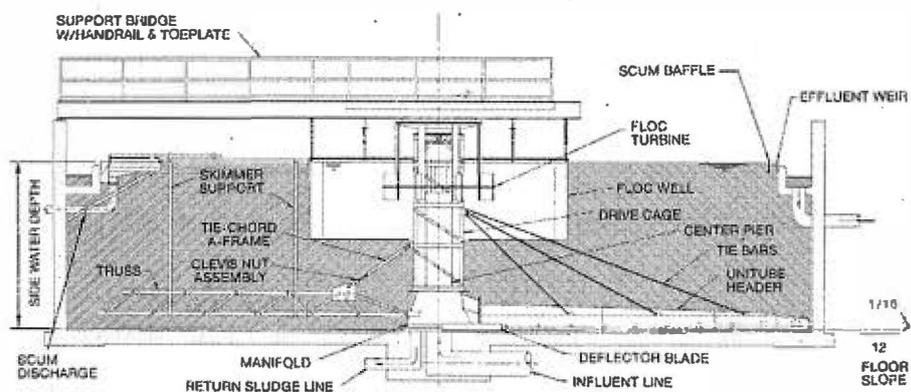


Figura 15. Sedimentador Circular Tipo Floculador – Clarificador

5.2.3.2.1. Mecanismos de la decantación

Cada partícula tiene una velocidad máxima por encima de la cual no hay decantación. Esta velocidad depende de la forma y, principalmente, de la densidad de la sustancia considerada.

Una partícula dentro de la masa de agua del decantador está sujeta a la acción de dos fuerzas:

- Fuerza horizontal resultante del movimiento del agua en el decantador, que origina la velocidad horizontal (V_H)
- Fuerza vertical debida a la acción de la gravedad, que causa la velocidad de sedimentación (V_s).

En consecuencia, la partícula avanza en el decantador y baja simultáneamente hasta aproximarse al fondo. Si en el decantador la partícula solo posee tales movimientos, entonces el tiempo necesario para que el agua lo atravesara sería igual al tiempo que demora en llegar al fondo, pero esto, en la práctica, no sucede, porque existen movimientos ascendentes del agua que se deben a las variaciones de temperatura, a la acción de los vientos, etc.

El periodo teórico de retención en un decantador equivale al volumen del tanque dividido por el caudal. Como en todo decantador existen espacios muertos, cortocircuitos, etcétera, el periodo real de retención siempre es inferior al teórico (el tiempo normal de travesía del agua en el decantador es de 4 a 6 horas).

5.2.3.2.2. **Aplicación:** Para ahorrar agua en el lavado de los filtros, es importante que el agua decantada que ingrese a estas unidades sea de la mejor calidad posible, para que las carreras de operación de los filtros sean largas.

La efectividad de la dosificación del coagulante es determinada por el valor de turbidez a la salida del tanque sedimentador. Esta medición de turbidez permite al operador ajustar los productos químicos sin perjudicar la calidad de agua, creando un nivel óptimo de la eficiencia de planta.

En ese caso, se debe considerar lo siguiente:

- El agua decantada debe tener un color bajo, de 5 a 10 UC como máximo.
- La turbidez debe ser baja; idealmente, no mayor de 2 UNT. El decantador debe remover por lo menos 90% de la turbidez del agua cruda.

$$\frac{(\text{Turbidez del Agua Cruda} - \text{Turbidez del Agua Decantada}) \times 100}{\text{Turbidez del Agua Coagulada}} \cong 90\%$$

Una turbidez o color elevado puede significar que la decantación no es eficaz debido a alguna de las siguientes razones:

- Dosis de coagulante inadecuada
- pH óptimo de coagulación erróneo
- Problemas de diseño o de mantenimiento del floculador, y
- Decantadores sucios.

La determinación del oxígeno consumido también es un óptimo proceso de control de la eficiencia de la decantación, que se puede comparar con la del agua cruda. El porcentaje de reducción debe ser el siguiente:

$$\frac{(\text{O}_2 \text{ consum. del agua cruda} - \text{O}_2 \text{ consum. del agua decantada}) \times 100}{\text{O}_2 \text{ consumido del agua cruda}} > 50\%$$

La comparación de conteo de colonias en placas Petri de agar patrón (agua cruda y agua decantada) también constituye un proceso de control de la decantación.

5.2.4. Filtración

La filtración del agua consiste en hacerla pasar por sustancias porosas que puedan retener o remover algunas de sus impurezas. Por lo general, se utiliza como medio poroso la arena soportada por capas de piedras, debajo de las cuales existe un sistema de drenaje. Con el paso del agua a través de un lecho de arena se produce lo siguiente:

- La remoción de materiales en suspensión y sustancias coloidales.
- La reducción de las bacterias presentes.
- La alteración de las características del agua, inclusive de sus características químicas.

Los fenómenos que se producen durante la filtración son los siguientes:

- La acción mecánica de filtrar.
- La sedimentación de partículas sobre granos de arena.
- La floculación de partículas que estaban en formación, debido al aumento de la posibilidad de contacto entre ellas.
- La formación de la película gelatinosa en la arena, producida por microorganismos que se reproducen allí (filtro lento).

La proceso de decantación remueve partículas de 25 micrones y más grandes, pero el proceso no es 100% eficiente, y la filtración es requerida. La turbidez es está entre 1 a 10 NTU cuando ingresa a la etapa de filtración.

El agua fluye a través de filtros de arena y percola cayendo a través de una combinación de arena, grava, carbón antracítico, y una mezcla de soporte de arena fina y grava. Las partículas más grandes quedan atrapadas primero y las partículas más pequeñas tales como arcillas, hierro, manganeso, microorganismos, materia orgánica, precipitados provenientes de otros tratamientos y sales son también removidos, resultando en agua clara cristalina.

La etapa de filtración también remueve materia residual resultando de la oxidación de químicos orgánicos y microorganismos en la etapa de desinfección primaria. Finalmente, los microorganismos resistentes a la desinfección con cloro o al ozono en la etapa de pre-tratamiento, son removidos eficientemente durante la filtración.

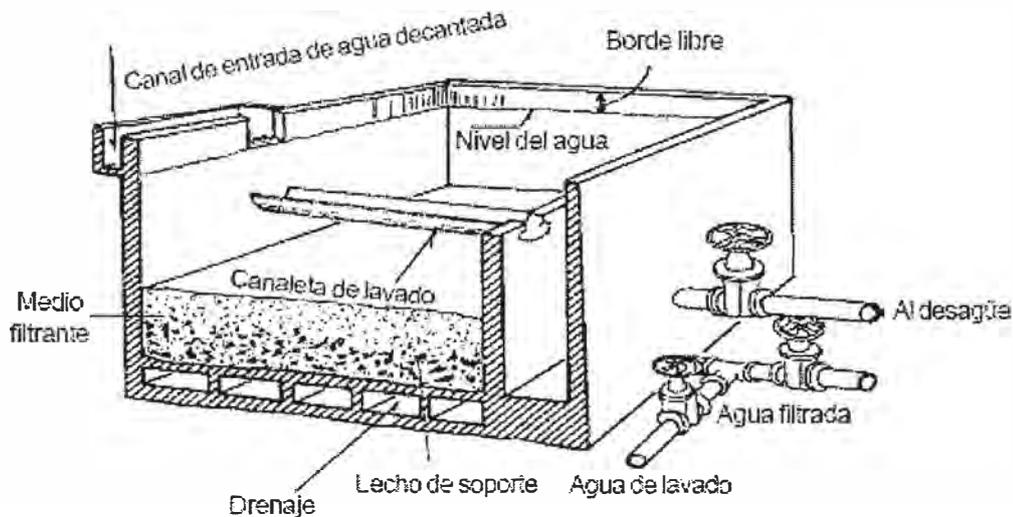


Figura 16. Esquema de un Filtro Rápido de Gravedad con Falsos Fondos

Los filtros rápidos de gravedad se utilizan en las plantas de tratamiento para la filtración de grandes volúmenes de agua previamente coagulada. Tienen forma rectangular y se lavan con agua tratada que se introduce de abajo hacia arriba (sistema que se denomina de retrolavado). Debido a ello, se construyen en áreas más pequeñas.

Están conformados por una caja de concreto en el fondo de la cual hay un sistema de canalización central y canales laterales cubiertos por varias capas y diámetros de grava que sostienen la capa de arena gruesa y la de arena preparada (Figura 16). También pueden estar contruidos con un sistema de fondo falso (de concreto) donde se ha colocado un drenaje cuya finalidad es distribuir el agua filtrada y el agua de lavado de manera uniforme en toda el área filtrante.

Periódicamente, los filtros deben ser retro-lavado para remover la materia suspendida fina y los sedimentos acumulados que depositan en el medio filtrante.

Tanto como una indicación de la condición de la performance y la necesidad de retrolavar los filtros, el efluente proveniente de la cama de los filtros es continuamente monitoreado con un turbidímetro. La opacidad en la apariencia del agua es causada por partículas diminutas en el agua. Continuamente, la medición de la turbidez es usada para proveer reportes para regulaciones ambientales y estatales y también ayuda a monitorear y mejorar la eficiencia de la planta, desde que los niveles de turbidez altos indican que el filtro no está operando apropiadamente y el retrolavado es necesario.

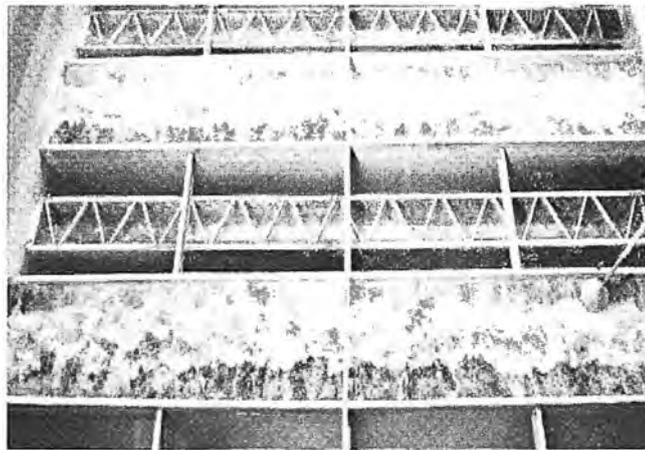


Figura 17. Lavados de Filtros

Los sistemas de filtración suponen la mejora de una reducción de un porcentaje mínimo de daños de *Cryptosporidium*, *Giardia* y virus por la combinación de ciertos límites de turbidez y una adecuada desinfección. El adecuado proceso de filtración y la remoción de estos microorganismos son determinados por la medición de la turbidez del agua efluente de filtro combinado para cumplir los criterios ambientales, incluyendo la frecuencia del monitoreo de la turbidez, el límite máximo de la turbidez y los métodos de medición de turbidez aprobados.

5.2.4.1. **Aplicación:** Monitorear la turbidez es recomendable en dos lugares, el efluente del lecho de filtros y a la salida del filtro de aguas residuales. La turbidez del efluente del lecho de filtros es medido para cumplir las regulaciones estatales, calcular la eficiencia de los filtros, y verificar la ruptura de los filtros.

Esta medición puede también ser usada para determinar cuando es necesario retrolavar los filtros. Monitorear la salida del agua residual de los filtros permite al operador, determinar cuando un ciclo de retrolavado está completo.

En el control sistemático del color y turbidez del agua filtrada en cada unidad de filtración es importante saber lo siguiente:

- Un aumento del color y de la turbidez en una unidad filtrante puede significar:
 - Necesidad de lavado
 - Filtro con grietas o desplazamiento de la arena contra las paredes, etc.

La determinación de la albúmina residual en el agua filtrada es una confirmación sobre el pH óptimo de floculación, pero la misma prueba en el agua de salida de cada filtro (albúmina soluble e insoluble) puede indicar el paso de flóculos por el lecho filtrante y, de esa manera, ayudar a evaluar las condiciones del filtro en estudio.

La eficacia del tratamiento se evalúa mediante la determinación del O₂ consumido o el conteo de colonias de bacterias en una placa de agar patrón. Las mismas determinaciones en las unidades filtrantes pueden controlar la eficacia de la filtración de cada una de ellas.

El tiempo transcurrido entre dos lavados del mismo filtro (controlado por la pérdida de carga) muestra la eficacia del tratamiento (coagulación y decantación). Cuando ese tiempo comienza a disminuir, ello significa que las condiciones del tratamiento son malas o que el lecho filtrante es deficiente.

El control y las determinaciones citadas anteriormente en relación con la pérdida de carga ayudan a evaluar la filtración y proporcionan al operador los medios para fijar convenientemente el instante de lavado (el límite de la pérdida de carga para cada unidad filtrante) con el fin de producir el mejor efluente.

El consumo de agua para el lavado del filtro debe ser del orden de 2% a 2,5% del caudal diario (mensual o anual) de la planta de tratamiento de agua. En resumen:

- Pérdida de carga de 1,80 a 2,50 m.
- O₂ consumido menor que 1,80 ppm
- Albúmina residual total menor que 0,3 ppm, y
- Reducción conveniente (90%) del conteo de colonias del agua cruda /agua filtrada.

5.2.5. Desinfección Secundaria

En cumplimiento con los requerimientos de desinfección post - residual, las plantas usan la cloración como desinfección secundaria en el paso de tratamiento final. El ozono no provee residuales de desinfección germicidas o de larga duración para inhibir o prevenir re-crecimiento de patógenos en los sistemas de distribución de agua.

Hoy, el cloro es añadido como gas cloro (CL₂), hipoclorito de sodio (ClO₂) como agentes de desinfección secundaria. Estos previenen el recrecimiento de ciertos patógenos que pueden ingresar a la planta de tratamiento o ser introducidos por contaminación de retroflujo.

Donde el cloro es añadido al agua, el cloro libre forma una mezcla de ácido hipocloroso (HOCL) y ion hipoclorito (OCl). La cantidad relativa de cada uno es dependiente del pH, y el total de HOCL y OCl es definido como cloro libre.

Para la desinfección del agua, el ácido hipocloroso no sólo es más reactivo que el ion hipoclorito, es también más fuerte oxidante y desinfectante. El ácido hipocloroso es 80 a 100 veces más efectivo que el ion hipocloroso.

Los sub - productos de la cloración fueron descubiertos en el agua potable en 1974, estos sub-productos tienen un efecto potencial en la salud de los humanos. Los temores de que esos sub-productos puedan ser un potencial cancerígenos han dado a la USEPA a establecer un nivel máximo para esos sub-productos de desinfección.

Alternando con los procesos de desinfección, otros procesos involucran añadir cloro y componentes de amonio al agua, donde es apropiadamente controlada forma cloraminas. Comparadas al cloro, las cloraminas producen muy pocos sub-productos de desinfección y existen como monocloraminas, dicloraminas o tricloraminas. Las tasas de estos tres dependen del pH, propiedades físicas de la fuente, tiempo de contacto de cloro, y la tasa de cloro a amonio. La monocloramina es la más desinfectante de las tres formas, desde que esta contribuye poco con olor o sabor, y es considerada a ser más efectiva en la desinfección del agua.

El cloro es proporcionado en cilindros metálicos resistentes, de 50 a 1.000 kilogramos, en contenedores. Puede ser utilizado en forma líquida o gaseosa.

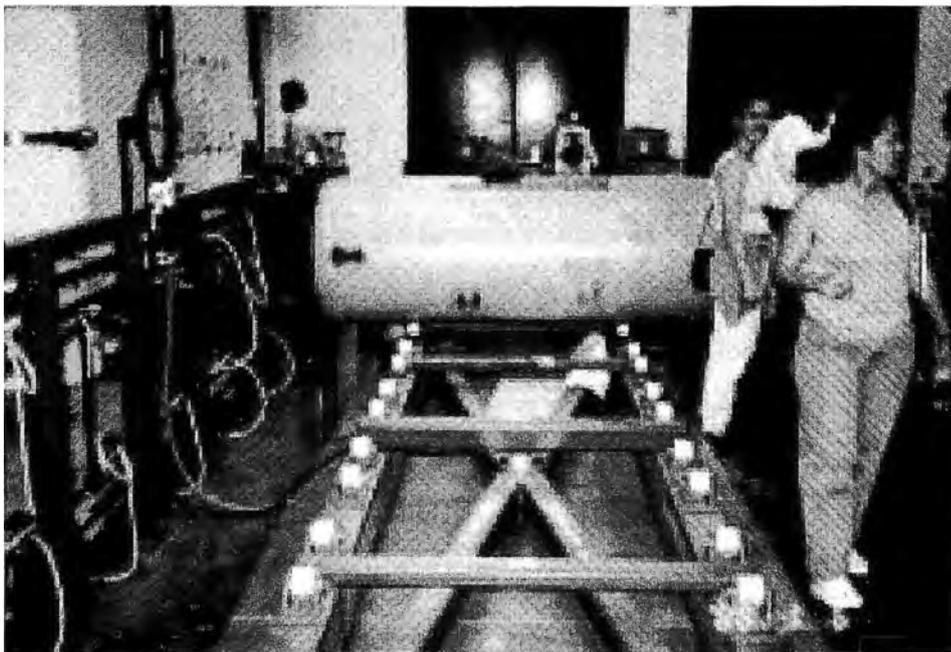


Figura 18. Sala de Cloración

Los cilindros de cloro de una tonelada deben ser almacenados o utilizados en posición horizontal, en una sola hilera, fijados por medios adecuados, con un espaciamiento mínimo de 0,20 metros entre los cilindros y un ancho mínimo de un metro entre los corredores de circulación.

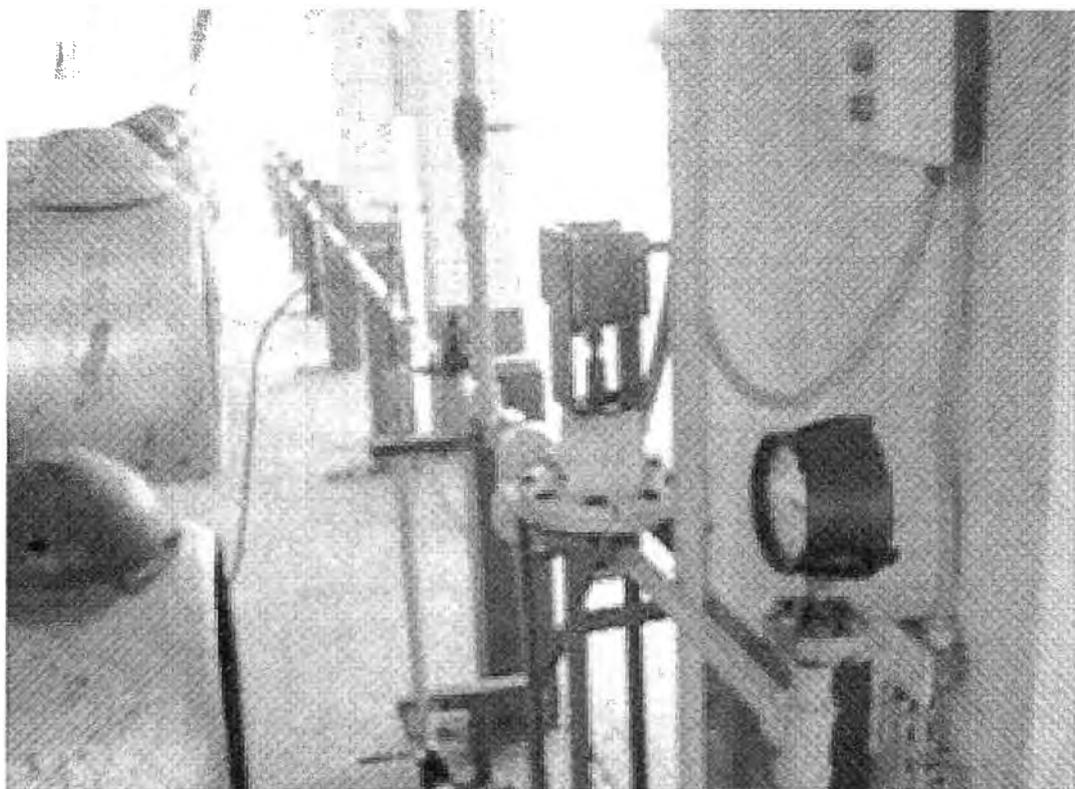


Figura 19. Sistema de Cloración al Vacío

Normalmente, la solución de cloro se aplica en la cámara de salida de la planta de tratamiento, en una zona con una sumergencia no menor de un metro, con el fin de reducir el escape de cloro. Cuando se utiliza un clorador de alimentación directa, el difusor debe colocarse en el fondo de la cámara con sumergencia constante. No se recomienda un tanque con altura de agua variable, porque se perdería mucho gas en la atmósfera.

La cámara de contacto tiene como función asegurar un tiempo de contacto fijo entre el agua y el cloro, de tal modo de asegurar la remoción de bacterias, virus y

parásitos presentes en el agua. Después de la aplicación del desinfectante para asegurar la remoción de bacterias, normalmente se ha venido aplicando al agua clorada un tiempo de contacto no menor de 20 a 30 minutos.

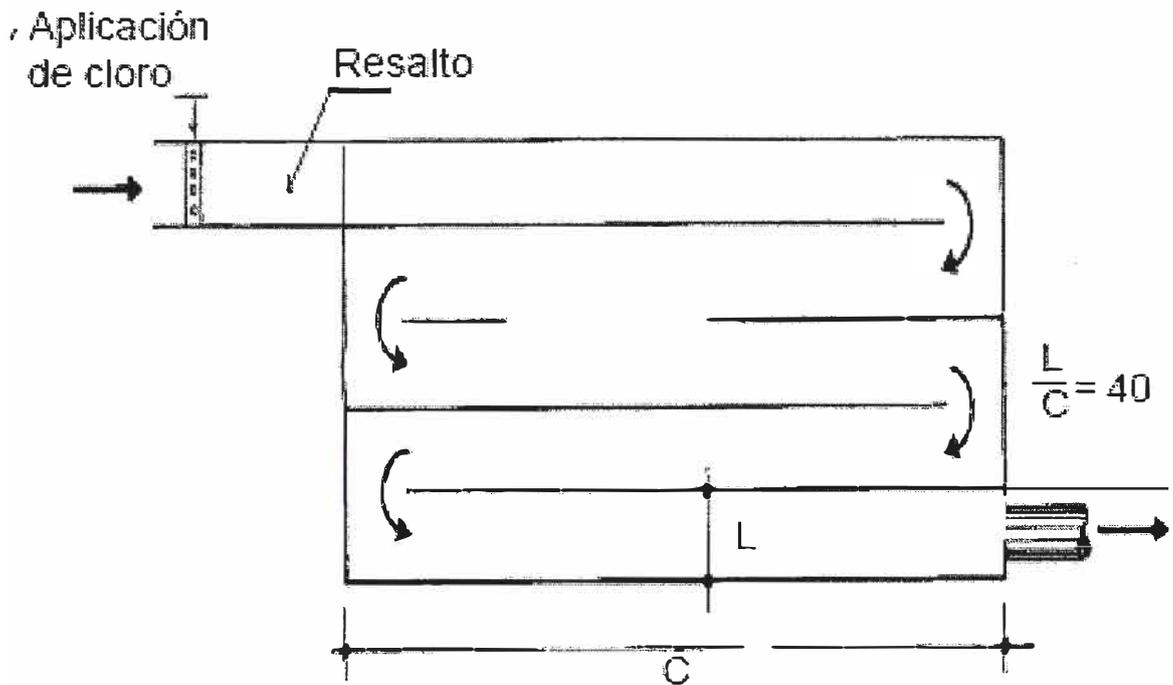


Figura 20. Cámara de contacto de cloro (vista de planta)

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado en el agua y la cantidad de cloro (libre o combinado) que permanece al final de un periodo de contacto específico. La demanda de cloro es la cantidad de cloro que consumen las impurezas en un determinado lapso.

5.2.5.1. **Aplicación:** Siendo la desinfección con cloro la etapa final de tratamiento tras lo cual deberá permanecer un residual de cloro para que viaje a través del sistema de distribución, se hace necesario su monitoreo y control para dosificar las cantidades exactas, además de mantener un registro permanente para cuando se requiriese. Para ellos será necesario también establecer lazos de monitoreo y control de cloro.

5.2.5.1.1. Tipos de Control

5.2.5.1.1.1. Control de Lazo Compuesto

En el modo de control de lazo compuesto, el controlador ajusta la tasa de alimentación en respuesta al flujo en planta y el residual (concentración de cloro ó dióxido de sulfuro en mg/L). El controlador acepta señales de ambos: un caudalímetro y un analizador de residual. La tasa o velocidad de alimentación de gas (o bomba dosificadora) es corregida instantáneamente por cambios en el flujo.

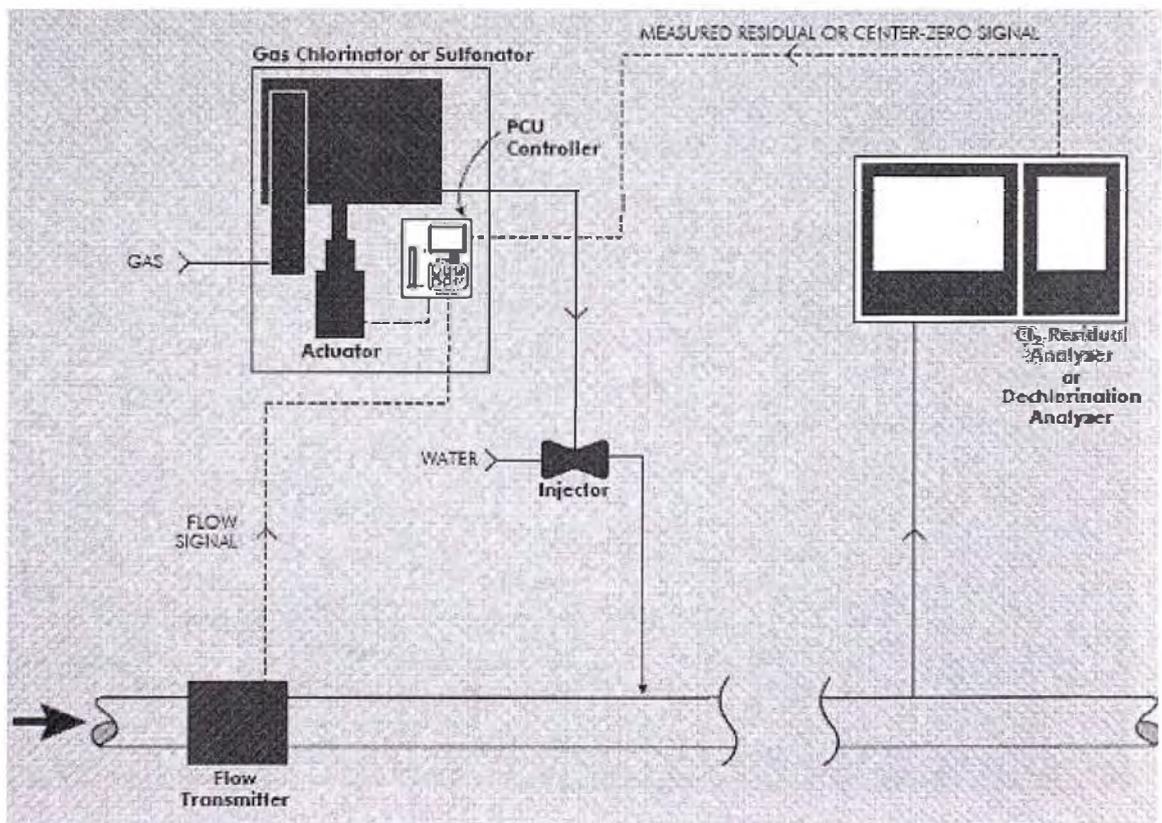


Figura 21. Modo de Control Tipo Compuesto

El controlador también compara la señal de residual a un set-point seleccionado por el operador y corrige cualquier desviación para cada intervalo de retraso de tiempo. El modo lazo compuesto es usado para control retroalimentación del modo de lazo cerrado en aplicaciones donde los cambios de flujo y la demanda de cloro varía sobre un amplio rango.

5.2.5.1.1.2. Control Residual Directo

En el modo residual directo, la velocidad de alimentación es ajustada por el controlador, basado en el residual como medida o un analizador residual similar al modo lazo compuesto descrito líneas arriba. El modo control residual directo es usado para mantener un residual deseado en aplicaciones donde el flujo es constante ó los cambios son graduales.

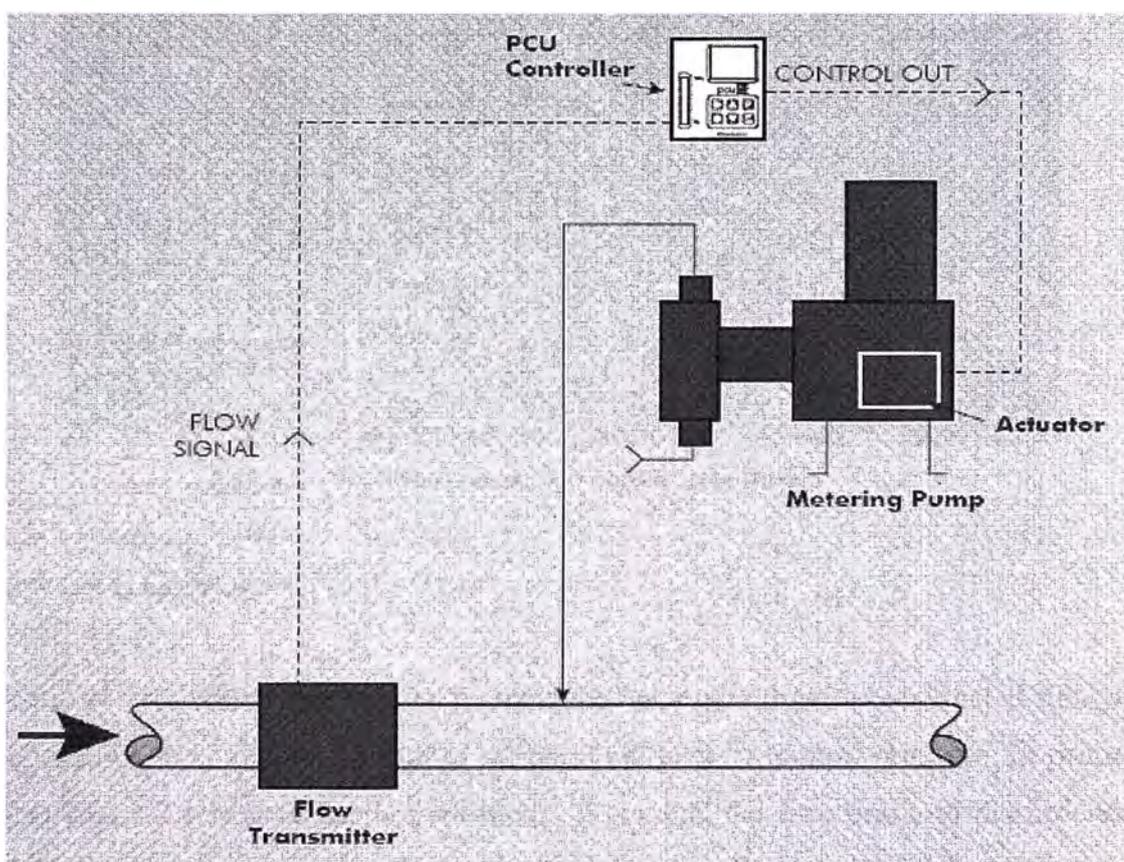


Figura 22. Modo de Control Tipo Residual Directo

5.2.5.1.1.3. Control Flujo Proporcional

En el modo proporcional al flujo de operación, el controlador se ajusta a la velocidad de alimentación de gas o velocidad de dosificación de líquido en proporción al fluido del proceso medido por un caudalímetro. La dosificación

puede ser ajustada desde un 10% a un 400% o caudal total, permitiendo al operador mantener una dosis completa de cloro en función al caudal de planta.

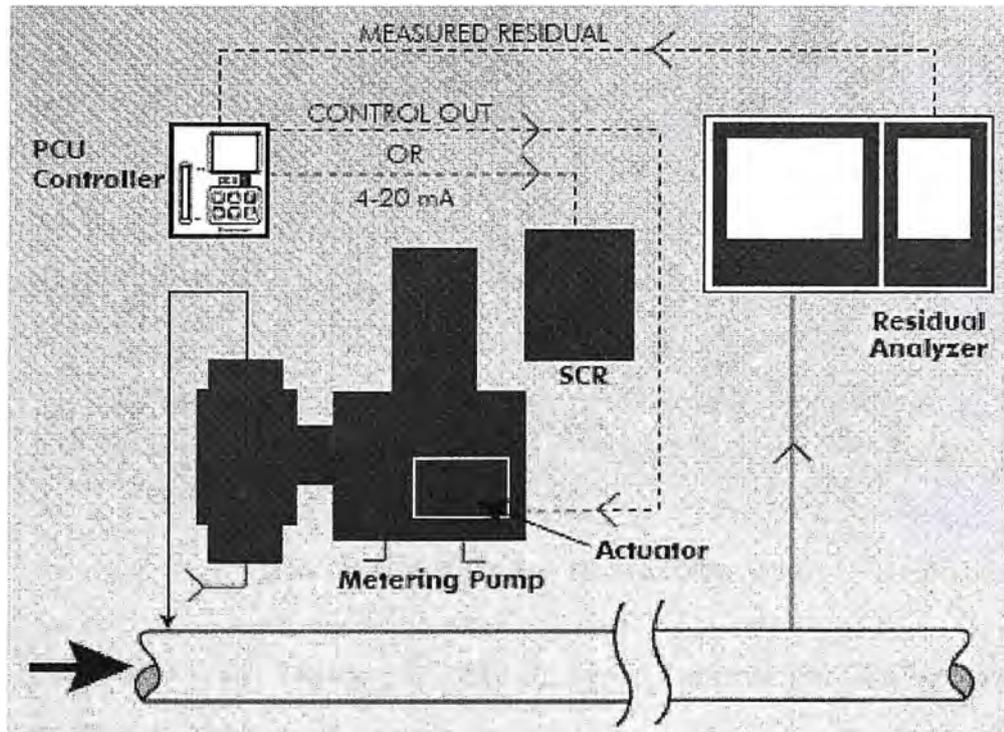


Figura 23. Modo de Control Tipo Alimentación Directa

2.5.1.1.4. Control Set Point – Trim

Este método utiliza un segundo analizador/sensor para medir el residual al final de la cámara de contacto y ajustar el set-point del lazo de control primario. El primer analizador / sensor es usado para medir el residual del lazo primario permitiendo una rápida respuesta para condiciones cambiantes. El segundo analizador/sensor el cual es colocado después de un periodo de contacto apropiado el cual es usado para ajustar el set point primario. El control es ideal para controlar cuando hay tanques de contacto donde el cloro residual puede variar.

Además del monitoreo del cloro residual, la medición de la turbidez permite al operador determinar la eficiencia total del tratamiento de agua. Esto ayuda a mantener el agua en la calidad requerida. Esta medición puede también ser usada para determinar si la planta está cumpliendo los requerimientos regulatorios.

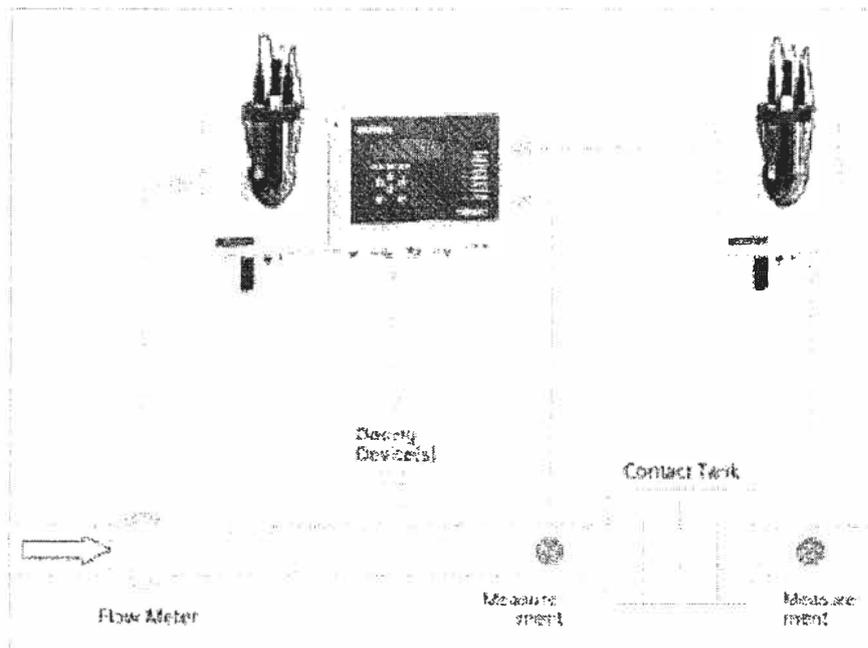


Figura 24. Modo de Control Tipo Set Point - Trim

5.3. Instrumentación Típica para Monitoreo y Control del Tratamiento del Agua para Consumo Humano

Dentro del equipamiento de instrumentación analítica típica que se debería tener para una planta de tratamiento de agua potable tenemos la siguiente lista:

TABLA 3. INSTRUMENTACION ANALITICA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

ETAPAS	Sensores	Aplicaciones Típicas
Ingreso a planta - Pretratamiento	pH (propósitos generales)	Uno/ ingreso
	Conductividad	Uno/ ingreso
	Turbidez	Uno/ ingreso
Desinfección Primaria	Ozono / Cloro Residual	Uno/ cámara de contacto
Floculación	pH (propósitos generales)	Uno/ tanque
Sedimentación	Turbidez	Uno/ tanque
Filtración	Turbidez	Uno/ filtro
Retrolavado de Filtros	Turbidez	Uno/ filtro de retrolavado
Desinfección Secundaria	Cloro Residual	Uno/ cámara de contacto
Distribución	pH (propósitos generales)	Uno/ punto de distribución
	Turbidez	Uno/ punto de distribución
	Cloro Libre Residual	Uno/ punto de distribución
	Conductividad	Uno/ punto de distribución

FUENTE: Rosemount Analytical (2004), Brochure "Drinking Water Solutions", www.rainhome.com,

En el presente informe nos centraremos en tres de los parámetros principales: Turbidez, Cloro Residual y pH.

5.3.1. Medición de la Turbidez

La turbidez, una característica cualitativa la cual es impartida por la obstrucción de los sólidos disueltos a la transmisión de la luz a través de una muestra de agua, es un importante indicador de la calidad de agua. La turbidez puede ser interpretada como una medida de la claridad relativa del agua y con frecuencia indica la presencia de materiales dispersos como: sólidos suspendidos; partículas en solución como limo, arcilla. Algas y otros microorganismos; materia orgánica y otras partículas pequeñas. La turbidez no es una medición directa de las partículas suspendidas en el agua, pero es una medición del efecto de la luz desviada por tales partículas.

El rango a la cual los sólidos suspendidos pueden ser tolerados varía ampliamente, tanto como lo hacen los niveles a los cuales existen. Agua de enfriamiento industrial, por ejemplo puede tolerar niveles relativamente altos de sólidos suspendidos sin problemas significativos. En calderos de alta presión modernos, sin embargo, el agua debe estar virtualmente libre de impurezas.

En el agua potable, la turbidez puede indicar la presencia de niveles altos de bacterias, patógenos, o partículas que pueden resguardar microorganismos dañinos y reducir la efectividad de la cloración. Resultando en riesgos para la salud. En casi todos los suministros de agua, altos niveles de materia suspendida son inaceptables por razones estéticas y pueden interferir a ensayos biológicos y químicos.

5.3.1.1. Teoría de la Desviación de la Luz

La propiedad óptica expresada como turbidez es la interacción entre la luz y las partículas suspendidas en el agua. Cuando en agua absolutamente pura un haz

directo de luz es transmitido este permanece relativamente imperturbable, sin embargo con frecuencia las moléculas en fluidos puros desviarán el haz en cierto grado. En consecuencia, ninguna solución tendrá turbidez cero. En muestras conteniendo sólidos suspendidos, la manera en la cual las partículas interfieren con la transmisión de la luz es relacionada al tamaño, forma y composición de las partículas en la solución, y la longitud de onda (color) de la luz incidente.

Una partícula pequeña interactúa con la luz incidente por absorción de la energía de luz y entonces, como si una entrada de punto de luz en si mismo, re-irradia la energía de luz en todas las direcciones. La re-irradiación omni-direccional constituye la “desviación” de la luz incidente. La distribución espacial de la luz desviada depende del rango de variación del tamaño de partícula a la longitud de onda de la luz incidente. Partículas mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz incidente exhiben una pobre simetría de distribución de desviación con aproximadamente equivalentes cantidades de luz desviada para adelante y hacia atrás (Figura 25.A).

(A) Small Particles

Size: Smaller Than $1/10$ the Wavelength of Light
Description: Scattering Symmetric



(B) Large Particles

Size: Approximately $1/4$ the Wavelength of Light
Description: Scattering concentrated in Forward Direction



(C) Larger Particles

Size: Larger Than the Wavelength of Light
Description: Extreme concentration of Scattering in Forward Direction; Development of Maxima and Minima of Scattering Intensity at Wider Angles

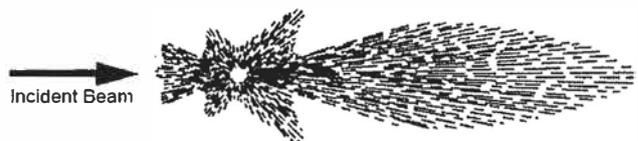


Figura 25. Desviación de la Luz debido a las partículas

Como el tamaño de las partículas se incrementa en relación a la longitud de onda, la luz desviada desde diferentes puntos de la partícula de muestra crea patrones de interferencia que son añadidos a la dirección frontal. Esta interferencia constructiva resulta en luz desviada directa de una más alta intensidad que luz desviada en otras direcciones (Fig. 25C, 25B). Además, las partículas más pequeñas desvían longitudes de ondas cortas más intensamente mientras que en longitudes de ondas más grandes suceden efectos pequeños. Inversamente, las más grandes partículas desvían las más grandes longitudes de ondas de las que ellas desvían longitudes de onda mas cortas.

La forma de las partículas y el índice de refracción también afectan la distribución de luz desviada e intensidad. Las partículas esféricas exhiben una mayor desviación de luz hacia atrás que las partículas de forma irregular. El índice de refracción de una partícula es una medida de cómo este redirecciona la luz pasando a través de esta desde otro medio tal como el fluido suspendido. Los índices de refracción de las partículas deben ser diferentes que los índices refractivos del fluido de la muestra en orden para que la desviación ocurra. Como la diferencia entre los índices refractivos de las partículas suspendidas y el fluido suspendido se incrementa, la desviación empieza a ser mas intensa.

El color de los sólidos suspendidos y el fluido de la muestra son significantes en la detección de la desviación de las partículas. Una sustancia coloreada absorbe energía de luz en ciertas bandas del espectro visible, cambiando el carácter de ambas luces transmitida y desviada y previniendo una cierta porción de luz desviada desde el alcance del sistema de detección. La desviación de la luz se intensifica cuando la concentración de las partículas se incrementa. Al haber más partículas la luz desviada golpea más y más partículas, múltiples desviaciones ocurren y la absorción de la luz se incrementa. Donde la concentración de las partículas excede un cierto punto, niveles medibles de ambas luces detectadas y desviadas caen rápidamente, marcando los niveles superiores de turbidez medibles. Disminuyendo el camino largo de luz a través de la muestra reduce el

número de partículas entre la entrada de luz y el detector de luz y extiende el límite superior de medición de turbidez.

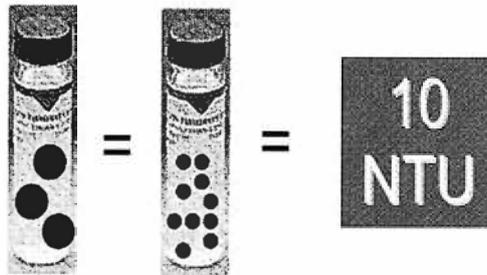


Figura 26. Comparación Turbidez vs. Sólidos Suspendidos

5.3.1.2. Descripción General de un Turbidímetro

El sistema óptico del instrumento típicamente incluye una lámpara, lentes y aperturas a los focos de luz, un detector a 90° monitorea la luz desviada, y opcionalmente, un detector de luz desviada directo e inversa. Los detectores opcional pueden ser añadidos para minimizar el impacto de color, luz parásita, y variabilidades de la lámpara y ópticas (Ver figura27).

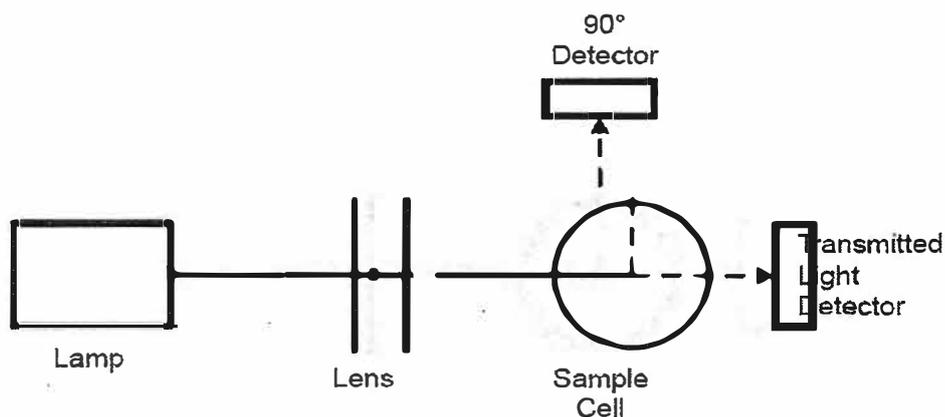


Figura 27. Esquema de un Nefelómetro

Dos métodos aprobados han sido aceptados para mediciones de turbidez para propósitos de cumplimiento de monitoreo, la Método EPA 180.1 y el Método ISO 7027. La método EPA es usada en el U.S. y en algunos países. El método ISO es usado fuera de los U.S., en Canadá, Europa, Latinoamérica y Asia.

TABLA 4. COMPARACION DE METODOS: USEPA 180.1 y ISO 7027

ITEM	EPA 180.1	ISO 7027
Fuente de Luz	Lámpara de Tungsteno	LED o lámpara de Tungsteno
Longitud de Onda	400 – 600 nm	860 +/- 30 nm
Características	Tiempo de precalentamiento largo	Luz desviada baja
	Más sensible a partículas más pequeñas	Menos sensible a partículas más pequeñas
	Interferencias por color	Interferencias por color bajas

FUENTE: HACH Company (2004), Application Note AN-T1, 2004, "Turbidity Monitoring in a Municipal Drinking Water Treatment Plant", www.hach.com

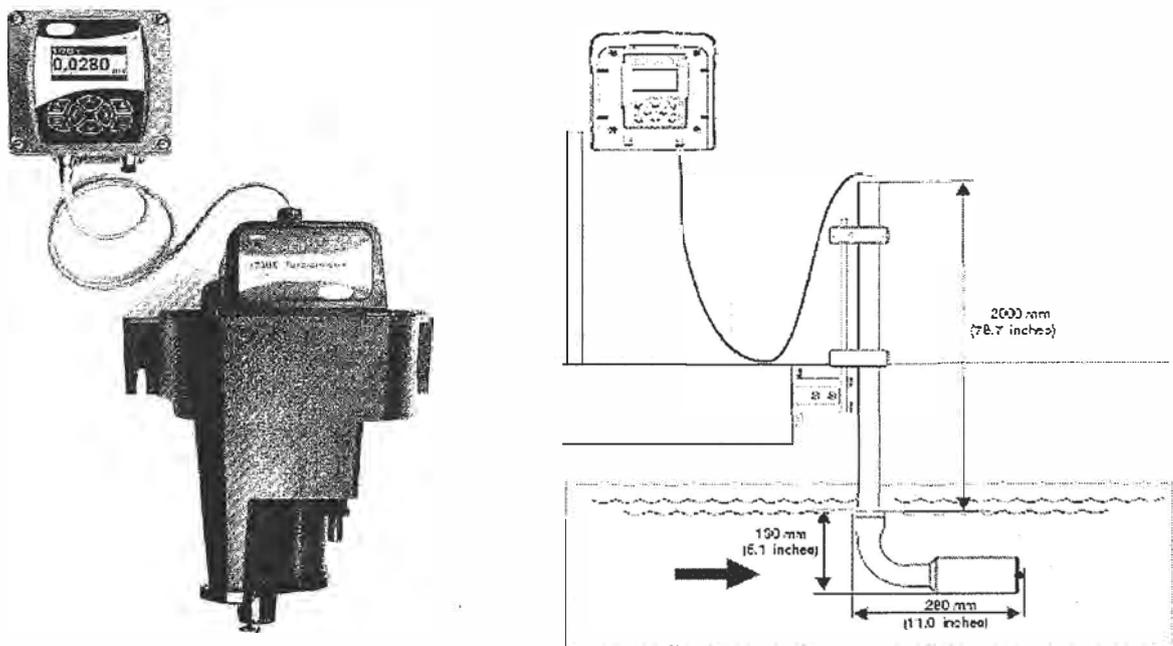


Figura 28. Sistemas de Análisis de Turbidez en línea

5.3.1.3. Estándar Primario de Formazina

La definición químicamente aceptada de un estándar primario, es un estándar que es preparado por el usuario final, en la mesa, desde materias primas trazables.

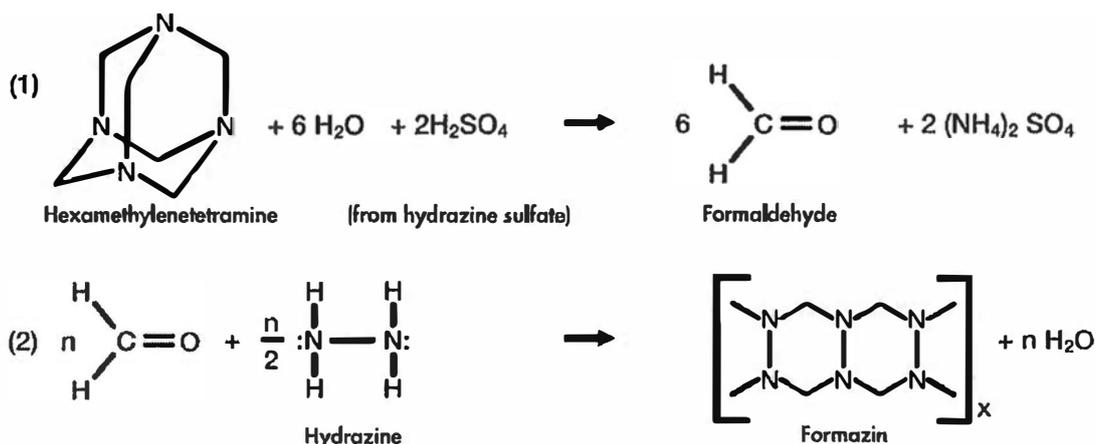


Figura 29. Preparación de la Formazina

La Formazina cumple ese criterio, es una solución de polímero que puede ser sintetizada en el laboratorio o comprada directamente a 4000 NTU. Se prepara pesando exactamente y disolviendo 5.000 g. de sulfato de hidracina y 50.0 g de hexametiltetramina en un litro de agua destilada. La solución desarrolla una turbidez blanca después de estabilizarse a 25 °C por 48 horas y puede ser preparada repetidamente con una exactitud de +/- 1%. Esta solución es equivalente a 4000 NTU. Todos los otros estándares de turbidez son trazables a la formaliza.



Figura 30. Patrones de Calibración de Formazina HACH

Debido a la reproducibilidad estadística del desviador nefelométrico de luz blanca por el polímero formazina, los instrumentos con diseños ópticos de luz blanca de filamento de tungsteno tradicional pueden ser calibrados con un alto grado de exactitud y reproducibilidad. La aleatoriedad de las formas y tamaños de las partículas contenidas dentro de los estándares de formazina producen desviaciones reproducibles estadísticamente en todos los modelos de turbidímetro.

5.3.1.4. Calibración y Medición a Bajos Valores

Aunque puede parecer más exacto calibrar con estándares de bajo nivel, hay varias razones prácticas de porque esto no trabajaría cómo se pretende y dejaría una calibración inexacta.

La contaminación es una preocupación significativa a niveles de baja turbidez. El estándar de calibración puede fácilmente contaminarse de partículas del aire, celdas de muestra, o dilución con agua. Si el agua de dilución usada para preparar un estándar de 0.1 NTU tuvo una turbidez de 0.04 NTU, por ejemplo, la concentración actual sería más alta que la esperada por un 40%.

La luz desviada y la variación de la celda de muestra son también significativas a bajos niveles de NTU pero son leíbles a 20 NTU. Si una calibración es hecha con estándares de bajo nivel, estos factores de contaminación luz desviada, y variaciones de la celda de muestra pueden fácilmente altera la curva de calibración y hacer todas las lecturas siguientes inexactas.

Por otra parte un estándar de 20 NTU puede ser preparado exactamente y reproducido y cualquier contribución de turbidez desde la contaminación, luz desviada, y variaciones de la celda de muestra es insignificante al valor de NTU. El punto cero de la curva de calibración es tomada como la oscuridad actual en el instrumento antes de que la lámpara sea encendida, y la curva de calibración es lineal de 0 – 40 NTU, en consecuencia la exactitud de la calibración es mantenida a bajas concentraciones.

5.3.1.5. Unidades de Turbidez

El colocar NTU para Unidades de Turbidez Nefelométricas, significa que el instrumento está midiendo la luz desviada desde la muestra a un ángulo de 90° desde la luz incidente. El estándar FNU para Unidades Nefelométricas de Formazina también significa que el instrumento está midiendo luz desviada desde la muestra a un ángulo de 90° desde la luz incidente. NTU es la unidad más usada frecuentemente cuando se refiere a USEPA Method 180.1 o Standard Methods para la evaluación de agua y aguas residuales. FNU es usado con mayor frecuencia cuando se refiere al método de turbidez ISO 7027 (Europa).

Cuando la formazina fue inicialmente adoptada como el estándar de referencia primario para la turbidez, unidades de FNU ó Unidades de Turbidez de Formazina fueron usadas. Sin embargo, no especifican cómo el instrumento mide la muestra.

FAU o Unidades de Atenuación de Formazina significa que el instrumento esta midiendo la disminución de la luz transmitida a través de la muestra en un ángulo de 180° a la luz incidente. Este tipo de medición es con frecuencia hecha en un espectrofotómetro o colorímetro y no es considerada una medición de turbidez valida por muchas agencias regulatorias.

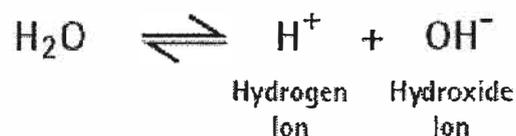
Las unidades de turbidez NTU, FNU, FTU, AND y FAU, son todas basadas en calibraciones usando los mismos estándares primarios de Formazina.

5.3.2. Medición del pH

5.3.2.1 Nomenclatura del pH

El agua y las soluciones basadas en el agua, consisten de partículas cargadas llamadas iones y partículas sin carga llamadas moléculas. Algunos iones tienen una carga eléctrica positiva y otros tienen una carga eléctrica negativa. En cada caso, el número y magnitud del balance de cargas tanto que no hay carga en

exceso. En agua pura, algunas de las moléculas de agua, la cuales consisten de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H₂O) se disociarán en iones:



Los iones hidrógeno H⁺ normalmente varían en concentraciones desde 1.0 a 0.000000000000001 moles. Tales números son abultados para trabajarlos. En consecuencia, los químicos buscaron una manera más fácil de expresar la concentración de iones hidrógeno. Diversos métodos fueron tratados, pero el método universalmente adoptado es la escala de pH. Traducir una concentración de ion hidrógeno a un valor de pH, la concentración (moles/litro) es expresada en notación científica con una potencia de 10. Por ejemplo:

$$0.000001 \text{ mol/L} = 10^{-6} \text{ mol/L}$$

Consecuentemente, la potencia del número exponente 10 (sin signo negativo) pone el valor de pH. Para este ejemplo, la concentración de H⁺ (ion hidrógeno) es equivalente a pH 6. Notar que al cambiando la concentración del ión hidrógeno por un factor de 10, cambia el valor de pH en una unidad.

TABLA 5. VALORES DE pH ALGUNAS SOLUCIONES

Solución	Valor	Solución	Valor
Acido Clorhídrico (37%)	0 pH	Agua Pura	7 pH
Acido Clorhídrico (1.4%)	1 pH	Leche de Magnesia	10 pH
Jugo de Limón	2 pH	Amoníaco (1.7%)	11 pH
Cerveza	3 pH	Soda Cáustica (1%)	13 pH
Queso	5 pH	Soda Cáustica (4%)	14 pH

FUENTE: GLI International (Feb 2001), Technical Bulletin TB-P1: "pH Measurement", www.hach.com

La escala de pH provee una manera conveniente para expresar concentraciones de ion hidrógeno en cualquier magnitud. Usualmente, el rango de la escala de pH es de 0 – 14, aunque es posible tener valores de pH menores que cero (negativos) o mayores que 14. Valores típico de pH de algunas soluciones comunes son listadas en la tabla 5.

El agua pura tiene un valor de pH de 7, la cual es considerada neutra. Cuando una solución tiene un valor de pH menor que 7.0, este tiene una concentración de ion hidrógeno mayor que la del agua y esta es referida como un ácido. Inversamente, una solución con un valor de pH de más de 7.0 tiene una concentración de ion hidrógeno menor que la de aquella agua y es referida como una base.

	pH	[H⁺]	[OH⁻]
	0	1.0	.000000000000001
	1	0.1	.00000000000001
	2	0.01	.0000000000001
ACIDIC	3	0.001	.000000000001
	4	0.0001	.00000000001
	5	0.00001	.0000000001
	6	0.000001	.000000001
Neutral	7	0.0000001	.00000001
	8	0.00000001	.0000001
	9	0.000000001	.000001
	10	0.0000000001	.00001
BASIC	11	0.00000000001	.001
	12	0.000000000001	.01
	13	0.0000000000001	0.1
	14	0.00000000000001	1.0

ION CONCENTRATION, MOL/L

Figura 31. Valores de pH vs. Concentración Iónica

5.3.2.2. ¿Cómo es medido el pH?

La medición de pH en una solución de acuosa puede ser hecha en una variedad de maneras. La manera más común involucra el uso de un electrodo de vidrio sensible de pH, un electrodo de referencia y un medidor de pH. Métodos alternativos para determinar el pH en solución son:

- **Indicadores:** son materiales que son específicamente diseñadas para cambiar color cuando es expuesto a diferentes valores de pH. El color de un papel muestra húmedo es llevado a un color en una carta de color para inferir un valor de pH. El papel pH está disponible para rangos de pH estrechos (por ejemplo, pH de 3.0 a 5.5, pH 4.5 a 7.5, pH 6.0 a 8.0), y ampliamente considerables de 1.0 a 11.0 de pH. El papel pH es típicamente usado para mediciones preliminares en volúmenes pequeños. No puede ser usado para monitoreo continuo de un proceso. Aunque el papel pH es bastante barato, puede ser atacado por soluciones de proceso, las cuales pueden interferir con el cambio de color.
- **Colorímetro:** Esta unidad usa un vial llenado con un apropiado volumen de muestra, a la cual un reactivo es añadido. Como el reactivo es añadido, un cambio de color toma lugar. El color de esta solución es entonces comparada con una escala de color o estándar espectral para interpolar el valor de pH. El colorímetro puede ser usado para medición de muestras recolectadas, pero no para medición continua on-line. Es típicamente usada para determinar el valor de pH del agua en piscinas, spas, torres de enfriamiento y calderas, tanto como en lagos ríos. Un medidor de pH es siempre recomendado para medición continua y precisa. Muchos laboratorios usan un medidor de pH conectado a un registrador o alguna otra unidad de adquisición de datos tanto que la lectura puede ser registrada o almacenada electrónicamente sobre un rango de tiempo definido.

5.3.2.3. Electrodo de pH

La medición de pH está basada en el uso de electrodo sensible al pH (usualmente vidrio), un electrodo de referencia, y un elemento de temperatura para proveer una señal de temperatura al analizador de pH.

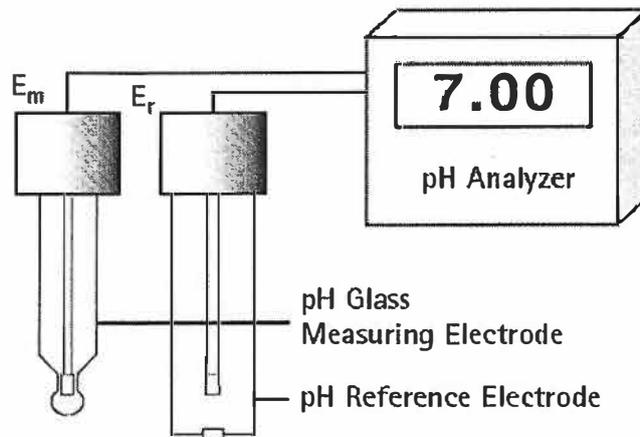


Figura 32. Sistema de medición de pH

Un electrodo de pH es construido con dos tipos de vidrio. El cuerpo del electrodo es un vidrio no –conductor. La punta, la cual es con frecuencia en forma de burbuja, es un vidrio conductor de iones litio consistente de oxido de silica, litio, calcio, y otros elementos. La estructura del electrodo de vidrio de pH permite a los electrones de ion litio ser intercambiados por iones hidrógeno en soluciones acuosas, formando una capa hidratada. Un potencial en milivoltios es creado cruzando la interfase entre el electrodo de vidrio de pH y la solución acuosa externa. La magnitud de este potencial es dependiente del valor de pH en la solución. La diferencia de potencial (V_1 menos V_2) creado en las capas externas e internas del electrodo de vidrio de pH puede ser medida usando electrodos de Plata / Cloruro de Plata (Ver fig.33)

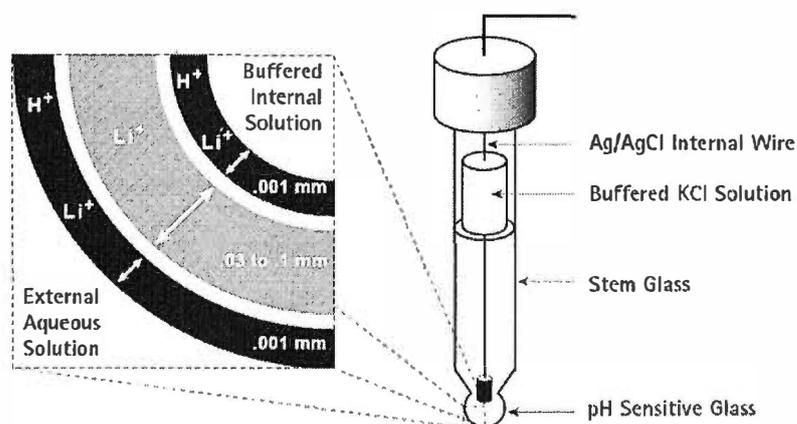


Figura 33. Componentes del electrodo de medición de vidrio

Desde que la solución interna del electrodo de vidrio esta tamponada, este valor de pH es mantenido constante, haciendo la diferencia de potencial medido dependiente sólo del valor de pH de la solución externa a ser medida.

El electrodo de referencia esta diseñado para mantener un potencial constante a cualquier temperatura dada, y sirve para completar el circuito de medición de pH dentro de la solución. Esta provee un potencial de referencia conocido para el electrodo de pH. La diferencia de los potenciales de los electrodos de vidrio de pH y de referencia provee una señal proporcional en milivoltios al pH.

Muchos de los sensores de pH son diseñados para producir 0 mV a pH 7.0, con un alcance (ideal teóricamente) de -59.16 mV/pH a 25°C .

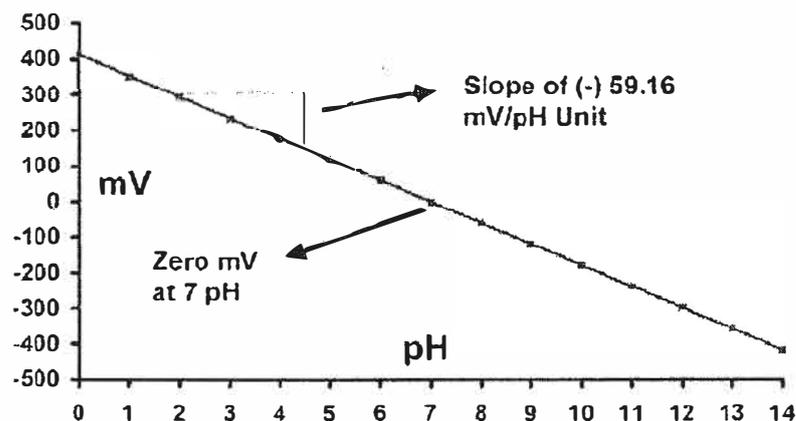


Figura 34. Relación pH vs. Mv

5.3.2.4. Ecuación de Nerst

El potencial en milivoltios que cruza el electrodo de vidrio varía logarítmicamente con respecto a la concentración del ión hidrógeno. (Desde que el ión hidrógeno puede ser influenciado por su medioambiente, el termino apropiado para esta relación debería ser “actividad” del ión hidrógeno. En muchas aplicaciones, sin embargo los términos “concentración” y “actividad” son usados intercambiamente. La ecuación que define la concentración del ión hidrógeno es conocida como la ecuación de Nerst:

$$E = E_0 + 0.059 \log [H^+] \text{ ó}$$

$$E = E_0 - 0.059 \text{ pH}$$

Donde:

E = Potencial (voltios)

E_0 = Potencial Estándar

$[H^+]$ = concentración del ión hidronios

El valor de “0.059” es conocido como la “Constante de Nerst” la cual varía” on la temperatura. A 25° el valor de la constante de Nerst es 0.059 y a 80°C es 0.070.

5.3.2.5. Necesidad de Medición de Temperatura

Las señales en milivoltios producidas por los electrodos de pH y de referencia son dependientes de la temperatura. Sin embargo, la combinación de los electrodos de pH y referencia exhiben un punto isopotencial, el cual es un potencial en milivoltios y pH a la cual el potencial es constante con los cambios de la temperatura.

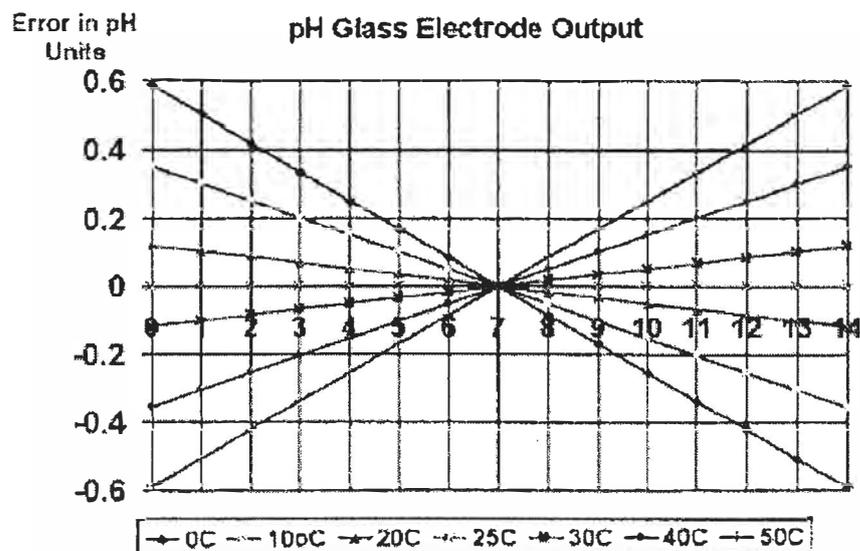


Figura 35. Salida del Electrodo de Vidrio de pH

El punto isopotencial está más frecuentemente diseñado para estar a pH 7.0 y 0 mV. Usando el punto isopotencial con un conocimiento teórico del comportamiento del electrodo hace posible compensar (corregir) la medición de pH a cualquier temperatura a una temperatura de referencia (usualmente 25°C), usando una señal de temperatura desde el elemento de temperatura. Esta hace la medición de pH independiente de los cambios en la salida de los electrodos con la temperatura.

5.3.2.6. Error del Ion Sodio

Aunque el electrodo de vidrio de pH responde muy selectivamente a los iones H^+ , hay una pequeña interferencia por iones similares como (Li^+), Sodio (Na^+), y Potasio (K^+) los cuales son ilustrados por tamaño relativo en la figura 36.

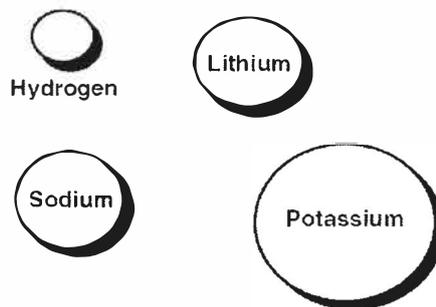


Figura 36 Tamaño relativo de los iones

La cantidad de interferencia disminuye con el incremento del tamaño de ion. Desde que los iones litio no están normalmente en las soluciones de la muestra los iones potasio causan muy poca interferencia, la más significativa interferencia proviene de los iones sodio.

La interferencia de los iones sodio sólo ocurre cuando la concentración de los iones hidrógeno es muy baja (10^{-12} o menos). A pH 12 y más altos, la concentración del ion sodio, normalmente presente debido a la adición de la concentración de hidróxido de sodio (NaOH), esta en el rango de 10^{-2} . En

consecuencia, los iones sodio interferirán cuando la concentración de los iones sodio exceda el la concentración del ion pH por un facto de 10^{10} (diez mil millones de veces).

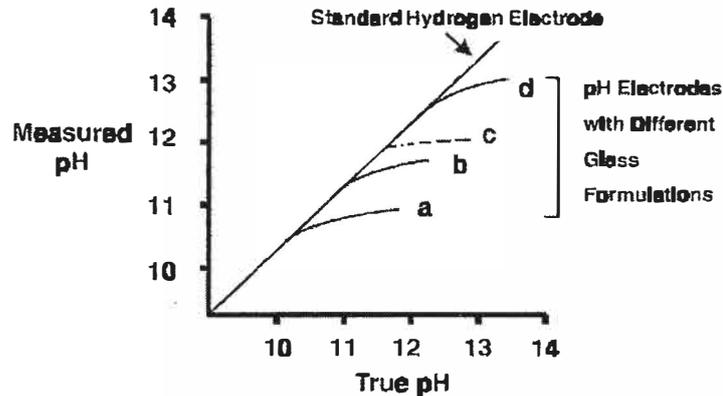


Figura 37. Error del ion sodio

Dependiendo de la formulación de vidrio, la interferencia del ion sodio puede tomar influencia a un valor más alto ó más bajo de pH. La figura 37 gráficamente muestra el fenómeno, conocido como “error del ion sodio”. Este compara los valores del electrodo de pH convencional con aquellos de un electrodo de hidrógeno estándar que no es afectado por la interferencia del ion sodio.

No hay formulación de vidrio actualmente disponible que tenga error del ion sodio cero. Desde que habrá algún error, es importante que el error sea constante y reproducible. Con muchas formulaciones de vidrio esto no es posible, porque el electrodo se pone sensible al medio al que estuvo expuesto antes de la solución de pH más alta. Por ejemplo, el punto exacto de inicio de un error de ion sodio de un electrodo podría ser pH 11.5 después de la inmersión en agua, pero a pH 12.5 después de la inmersión en una solución alcalina.

El desgaste molecular controlado de formulaciones de vidrio especiales puede mantener el error del ion sodio consistente y repetibles, separando una capa molecular a la vez. Esta especial característica provee una cantidad consistente de

iones litio disponible por intercambio con los iones hidrógeno para producir un potencial de milivoltios similar para una condición similar.

5.3.2.7. Consideraciones para el Electrodo de Vidrio en Aplicaciones con Acido Fluorhídrico

Frecuentemente, las aplicaciones de medición de pH involucran la presencia de ácido fluorhídrico (HF). El ácido fluorhídrico ataca químicamente el electrodo de vidrio y lo hace inútil en poco tiempo. Si el electrodo de vidrio permanece en solución, eventualmente se disolverá. Cuando el valor de pH de una solución es menor que pH 6 y el ácido fluorhídrico está presente, se recomienda usar un electrodo de pH hecho de antimonio en vez de vidrio para evitar aquellos problemas.

5.3.2.8. Electrodo de Referencia

El electrodo de referencia común usado en las mediciones de pH consiste de un hilo de plata recubierto con cloruro de plata en una solución llena de cloruro de potasio. El propósito del cloruro de potasio es mantener una concentración reproducible de iones plata en la solución llena, la cual resulta en un potencial reproducible (voltaje) en un hilo de plata /cloruro de plata. Para el electrodo de referencia mantener un potencial reproducible, la solución llena debe permanecer relativamente sin contaminarse por ciertos componentes en la solución del proceso. Al mismo tiempo, el electrodo de referencia debe estar en contacto eléctrico con el electrodo de pH a través de la solución del proceso. Una junta líquida porosa de cerámica, madera, o plástico, la cual permite a los iones para pasar entre la solución llena y el proceso. Este pasaje de iones entre el electrodo de referencia y el proceso es necesario para mantener contacto eléctrico, pero también crea el potencial para la contaminación de la solución de referencia por componentes en la solución del proceso.

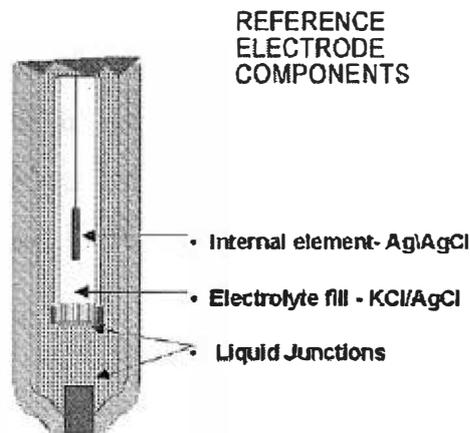


Figura 38. Componentes del Electrodo de Referencia

5.3.2.9. Recubrimientos en el Sensor de pH y Limpieza

Sólidos sin disolver y líquidos en un proceso pueden recubrir un sensor de pH, drásticamente incrementan su tiempo de respuesta o taponan la junta líquida del electrodo de referencia. Dependiendo de la tasa de ensuciamiento, el sensor puede o ser limpiado manualmente ó on-line.

La limpieza manual del sensor deberá ser hecha con una solución de limpieza efectiva suavemente. Depósitos alcalinos pueden ser removidos con soluciones ácidas débiles (HCl 5% ó vinagre) depósitos ácidos pueden ser removidos con un cáustico suave (soda cáustica 1%). Depósitos orgánicos (aceites y grasas) pueden con frecuencia ser removidos con una solución detergente, pero un recubrimiento más tenaz puede requerir el uso de un solvente. El solvente usado deberá ser cuidadosamente escogido para evitar el ataque a los o-rings y empaquetaduras de los sensores.

En todos los casos, la exposición a la solución de limpieza deberá ser minimizada para limitar la cantidad de solución de limpieza que ingresa a la junta líquida. La solución de limpieza que entra a la junta líquida puede crear un potencial de junta líquida, la cual persistirá hasta que los componentes de la solución se difunda fuera de la junta líquida.

La limpieza on-line reduce el mantenimiento en los procesos que rápidamente ensucia el sensor. La limpieza ultrasónica fue el primer acercamiento a la limpieza on-line, pero fue ineficiente en recubrimientos ligeros y gelatinosos, y sólo efectivos marginalmente con recubrimientos cristalinos duros. Esto es ahora un método abandonado de limpieza.

Uno de los más exitosos métodos para la limpieza on-line ha sido el limpiador jet-spray. Este método dirige un spray de agua o solución de limpieza en la cara del sensor de pH a intervalos de tiempo o basados en alarmas de impedancia de referencia alta.

5.3.2.10. Buffers

El término buffer es definido como, “una sustancia que absorbe un impacto, protege contra golpe, resista al cambio, o mantener una concentración ácido/base relativa dentro de un rango específico.”

Respeto al pH, los buffers son soluciones en el cual el pH permanece sin cambiar cuando pequeñas cantidades de un ácido o una base son añadido. Un buffer es una solución de un ácido débil o base y una de esas sales, las cuales deben resistir un cambio en el valor de pH. Una solución tamponada contiene químicos que no permitirá rápidamente un cambio del valor de pH cuando esta siendo neutralizada o cambiada la solución.

Un ejemplo de una solución buffer pobre es el Fosfato Trisódico. Una solución 0.06% a 25°C tiene un pH de 12.0. Una solución con la mitad como mucho de concentración (0.03%) tiene un pH de cerca de 11.7, mientras con dos veces como mucho de concentración (1.2 %) tiene un pH de 12.5. Es evidente que un incremento o disminución en la concentración de la solución también incrementará disminuirá el pH.

Un ejemplo de un buen buffer sería una solución de sesquicarbonato de sodio. El valor de pH para esta solución, en las mismas concentraciones y con la misma temperatura como el ejemplo previo, permanece consistente. Este buffer indica que es una solución más estable.

5.3.2.11. Calibración

Los electrodos de pH deben ser calibrados, de tiempo en tiempo, calibrados para mantener una medición exacta. Es un hecho que la performance de un sensor de pH se degrada sobre el tiempo. El periodo de tiempo y la pérdida relacionada de la performance varía considerablemente con cada aplicación y en condiciones únicas. Específicamente, la calibración es realizada para compensar los cambios en el potencial dentro de los electrodos de referencia y medición, tan bien como cualquier cambio en el potencial entre ellos.

Las diferencias o cambios en el potencial pueden ser causados por uno o más de los siguientes factores:

- **Contaminación de la solución electrolítica de referencia**, la solución a ser medida es permitida a migrar a través de la junta de unión e ingresa a la cavidad electrolítica, de ese modo cambiando su composición y alterando su composición electrolítica.
- **Reducción / Evaporación del electrolito**, como la solución siendo medida ingresa a la cavidad del electrolito de referencia, electrolito es desplazado. Bajo una correcta combinación de condiciones de presión y temperatura, el electrolito, la solución de proceso, o una mezcla de ambos puede ser desplazada de la cavidad. Como los niveles cambian, tanto como el potencial de salida, hasta que finalmente, el nivel cae bajo el hilo plata/cloruro de plata para causar un circuito abierto de medición.

- **Ataque químico del hilo plata/cloruro de plata**, como la solución siendo medida ingresa a la cavidad del electrodo de referencia, ciertos cambios pueden ocurrir que envenenan el hilo plata/cloruro de plata. Este ataque físico/químico en el hilo cambia, sus propiedades tales como aquellas del sistema de referencia no produciendo la misma salida como progresa el ataque. En algunos casos, este cambio en la salida permanecerá constante, mientras que en otros éste puede estar degenerándose constantemente en el tiempo.
- **Potencial de la junta**, cuando se encuentra expuesta la solución medida, la junta de referencia puede empezar a contaminarse y taponarse. Esto cambia la resistencia del electrodo de referencia, de ese modo cambia la salida.
- **Desgaste del electrodo de medición**, como el electrodo de medición esta expuesto a la solución a ser medida, el electrodo es continuamente atacada. La capa de gel que es formada en la punta del electrodo cambia continuamente lo cual altera su salida. Este desgaste es continuo, el electrodo de medición de vidrio nunca se hace estable. Como el desgaste es progresivo, la capa de gel se hace más delgada, afectando de esa forma los datos de salida.

Hay muchas influencias externas que pueden afectar la performance de un sistema de medición de pH. Para asegurar una apropiada aplicación de los sensores de pH, las condiciones específicas del proceso deben ser consideradas, incluyendo:

- Rango de operación de pH anticipado.
- Valores de pH del proceso máximo y mínimo.
- Temperatura y presión máximas y mínimas.
- Composición de la solución del proceso.

Es también muy usual saber acerca de sistemas de mediciones previas exitosas ó fallas y cualquier circunstancia relacionada.

5.3.3. Medición del Cloro Libre

Antes de que el agua pueda ser usada como una fuente confiable y segura para agua potable, esta debe ser apropiadamente tratada. Desde que el agua es un solvente universal, esta viene en contacto con diversos patógenos, algunos de los cuales son potencialmente letales, y la inactivación es completada a través de la desinfección y tratamiento de refiltración mecánica. Este mecanismo consiste de filtración gruesa para remover objetos grandes y pre-tratamiento el cual incluye desinfección usando cloro y ozono.

Uno de los primeros usos conocidos del cloro fue para la desinfección del agua en 1850 después de una epidemia de cólera en Londres. El cloro fue usado primero en USA en 1908 como un desinfectante químico del agua potable, y sus atributos de desinfectante poderoso viene desde su habilidad para adherirse y destruir la superficie externa de las bacterias y virus.

3.3.1. Uso del Cloro

Hoy, el cloro es añadido a agua como gas cloro (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl) o dióxido de cloro (ClO_2) en dos etapas de tratamiento, desinfección primaria y secundaria. La adición de cloro es controlada por medición continua de on-line de cloro en ambas etapas de tratamiento. El cloro tiene un efecto germicida amplio en la etapa de desinfección primaria de una planta de tratamiento de agua potable. Sólo el cloro puede proveer un residual o persistencia en el sistema de distribución del agua y proteger contra la reproducción de microorganismos y prevenir enfermedades provenientes del agua.

El cloro en el agua reacciona con contaminantes orgánico e inorgánico y éstos contaminantes imponen una demanda de cloro en el agua. El cloro que no es usado es llamado residual. En consecuencia,

$$\text{Cloro Residual} = \text{Cloro Dosificado} - \text{Demanda de Cloro}$$

Los patógenos pueden ingresar al sistema de distribución a través de grietas y uniones de las tuberías. La prevención de la contaminación en el sistema de distribución requiere monitoreo regular para los niveles de desinfección, y aunque el agua puede ser segura al dejar la planta de tratamiento. Es importante monitorear para controlar la contaminación de los microorganismos. Un mínimo de cloro residual debe ser mantenido en el más lejano punto recomendándose un residual de 0.2 mg/L de cloro residual.

5.3.3.2. Química del Cloro

Cuando el cloro es añadido al agua, el cloro libre forma una mezcla de ácido hipocloroso (HOCL) y ion hipoclorito (OCL⁻). La cantidad relativa de cada uno es dependiente del pH, y la cantidad total de HOCL y OCL⁻ es definida como cloro libre. Para desinfección del agua, el ácido hipocloroso no es sólo más reactivo que el ion hipoclorito (OCL⁻), es también un desinfectante y oxidante de patógenos. El ácido hipocloroso es 80 a 100 veces más efectivo que el ion hipoclorito. Para mediciones exactas de concentraciones de cloro residual, los valores de temperatura y pH deben ser tomados en cuenta. La cantidad relativa de ácido hipocloroso o hipoclorito presente depende del pH y en una ligera extensión de la temperatura.

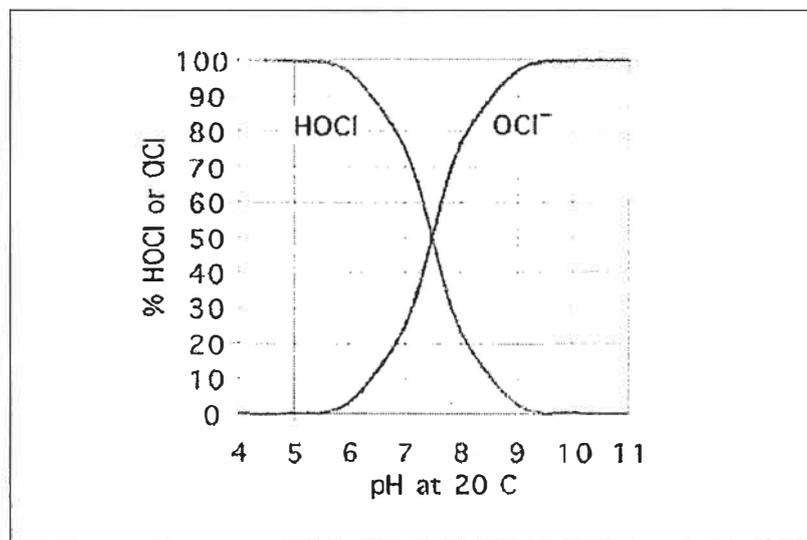


Figura 39. Valores de pH vs. % Concentración de HOCl y OCl⁻

5.3.3.3. Medición del Cloro Residual

Los analizadores de cloro típicos usan reactivos para convertir cloro hacia una forma que el instrumento pueda medir. Típicamente, una botella de reactivos dura entre uno o dos meses, tanto que los costos de químicos son un constante gasto del presupuesto de la planta. Además, reemplazar las botellas de reactivos y ordenarlas, almacenarlas y transportar todo el stock requiere recursos y trabajo. Algunas plantas tienen monitores de cloro residual en diversos puntos a lo largo del sistema de distribución y este monitoreo remoto requiere con frecuencia más tiempo y dinero. Un analizador basado en reactivos requiere un sistema de acondicionamiento de muestra: una bomba para inyectar reactivos, mangueras para llevar reactivos y muestra, una unidad de mezclado. Las mangueras necesitan reemplazo periódico y las cámaras de mezclado necesitan limpieza, un sistema basado en reactivos requiere mantenimiento más allá de un simple reemplazo de reactivos.

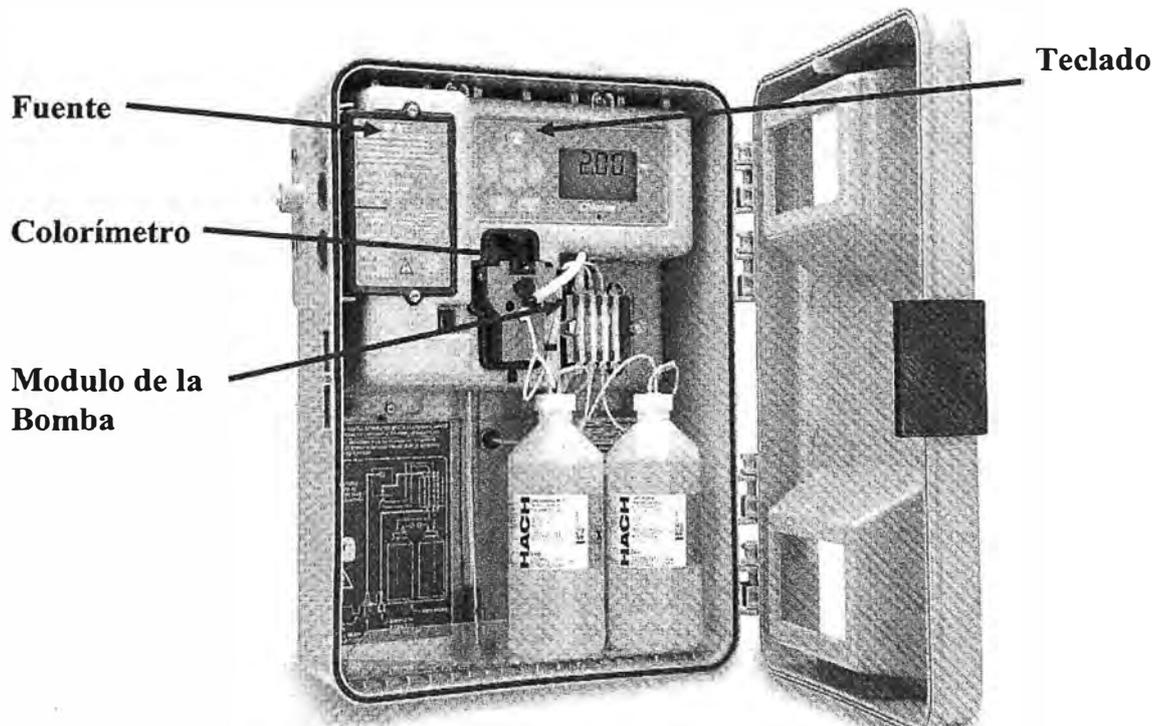


Figura 40. Analizador de Cloro Residual con Reactivos

Otros sistemas del tipo Amperométrico, consisten de un paquete electrónico, un sistema de flujo y dos sensores. Un sensor mide cloro y el otro mide pH. La medición de pH es necesario porque el sensor cloro responde a ambos: cloro libre y pH. Como el pH se incrementa, la señal de cloro disminuye, incluso aunque la concentración de cloro libre permanece constante. Un algoritmo de corrección de pH en el analizador compensa la señal de cloro para cambios de pH. El algoritmo de compensación es válido para pH 9,5. Porque muchas fuentes de agua municipales tienen un pH debajo de 9,5, hay pocas plantas que no pueden usar sistemas Amperométricos.

La corrección continua de pH no es siempre necesaria. Si el pH varía menos que 0.2, ninguna corrección es necesaria. Una versión más simple de estos sistemas teniendo sólo un sensor de cloro pueden ser usados. El mantenimiento es simple, los sensores de cloro contienen una solución repleta y una membrana, ambos de los cuales necesitan ser reemplazados cada tres meses. Ninguna herramienta especial es requerida y el trabajo puede ser completado en menos de cinco minutos. El sensor de pH en el sistema no requiere mantenimiento adicional más que una ocasional limpieza. El controlador de flujo no tiene partes móviles, este posee una presión constante debido a control de sobreflujo en tubería.

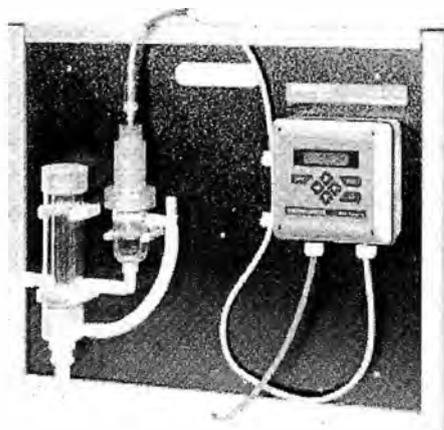
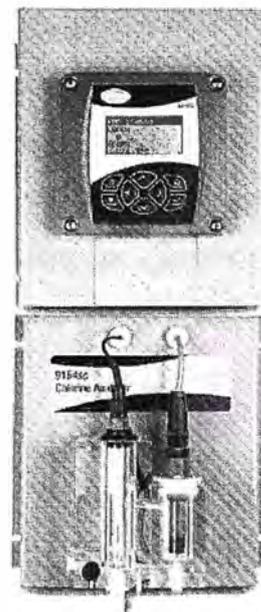


Figura 41. Analizadores de Cloro Residual Tipo Amperométrico, Rosemount y Hach.



5.4. Seleccionando Analizadores de Proceso

Tanto para los operadores como para los técnicos, el rol primario es asegurar una eficiente operación de la planta y sin complicaciones. Su principal dolor de cabeza, sin embargo son las ineficiencias e interrupciones de procesos que pueden provocar desastres. Para evitar estos problemas, se confía fuertemente en la instrumentación y sala de control para identificar problemas potenciales antes de que estos ocurran. Sin esta información crítica provista por el amplio arreglo de unidades de medición, se puede estar ciego para operar en las condiciones de proceso.

Entonces, ¿qué tipo de instrumento es el mejor y que características se necesita? ¿Cómo realmente se escogería los mejores instrumentos antes de comprar? ¿Cómo decidir la compra? Estas son las preguntas que se responderán a continuación.

5.4.1. ¿Qué tipo de instrumento comprar?

La primera decisión puede ser ya obvia basada en su infraestructura de energía, el ambiente de instalación? y cualquier requerimiento de conectividad a la red. Estrechando el campo basado en su entrada de energía disponible – AC o DC. Instrumentos a 4 hilos son para instalaciones energizadas con AC pero muchas también son ofrecidas en configuraciones de energía en DC. Se podría escoger de acuerdo a las características o capacidades de un instrumento alimentado con AC específicamente, pero también trabajar con DC. Buscar por instrumentos que puedan ser ordenados en configuraciones de alimentación en AC o DC.

Instrumentos a 2 hilos son alimentados con lazos DC y sólo requieren conexión a claves negativas y positivas para operación. Si se quiere una instalación en zonas seguras que requieren unidades dos hilos, se debe asegurar especificar los instrumentos electrónicos específicos que son aprobados por agencias para

instalaciones en áreas peligrosas (tales como “a prueba de explosión” o “no-incendiario”). No todas las unidades son aprobadas como intrínsecamente seguras (para Class 1, Division 1 áreas) o No-Incendiarias (para Class 1, División 2 áreas) las cuales pueden ser un requerimiento duro y rápido una protección confiable. Algunos instrumentos energizados en lazos DC están disponibles con capacidades de comunicación de red, típicamente HART (Highway Addressable Remote Transducer) o FOUNDATION Fieldbus. Se debe especificar el apropiado protocolo de red si la planta tiene estandarizada las comunicaciones digitales para unidades de medición crítica. Comunicación digital HART es también comúnmente usados para red de unidades de 4 hilos. Se debe verificar las especificaciones de los instrumentos que se está considerando para HART como para una expansión.

5.4.2. ¿Qué características harán el trabajo y las operaciones más fáciles?

Hacer una lista de las mediciones o requerimientos analíticos es una manera fácil de identificar los instrumentos que harán el trabajo necesario. Revisar la lista de especificaciones contra las hojas técnicas de los instrumentos de los proveedores para identificar unidades potenciales. La lista de características básicas debería incluir:

1. Tipo de medición: Por ejemplo, pH o conductividad para mediciones analíticas líquidas; CO₂ para mediciones analíticas de gas; temperatura y presión para mediciones de proceso.
2. Rango de medición: Ajustar las condiciones del proceso para las capacidades de medición (rango y exactitud) de la electrónica del instrumento.
3. Tipo de protección del instrumento: especificar una cubierta NEMA water-proof para ambientes sucios o áreas de instalación donde los niveles de seguridad son requerida.

4. Protección para montaje superficial, panel y tuberías: Muchos proveedores ofrecen configuraciones de cubiertas y juegos de adaptadores que soportan todos los tipos de montaje.
5. Acceso local al instrumento: accesos via teclado o remotos manuales IR (infrarrojo) son disponibles para permitir calibración y configuración in-situ.
6. Salidas Análogas 4-20 mA: se necesitará las salidas 4-20 mA para transmitir lecturas en vivo hacia la sala de control evaluación de procesos en tiempo real, almacenamiento de datos, y reportes.
7. Relays de Alarma: especificar relays si se necesita encender alarmas de proceso o anunciadores en la sala de control para condiciones de proceso cambiantes.
8. Diagnósticos: esto provee información de problemas críticos de las condiciones del instrumento, sensor, lazo completo, y el proceso.
9. Comunicaciones Digitales: HART y FOUNDATION Fieldbus proveen acceso centralizado para status on-line, configuración y diagnostico para todos los instrumentos de la red.
10. Aprobaciones de Agencia: aprobaciones de seguridad desde FM (U.S.) o CSA (Canadá) pueden ser requeridas si los instrumentos van a ser operados en áreas diseñadas como hazardous.
11. Medición Dual: para ciertas aplicaciones y para ahorro de costos de instrumentación, algunos fabricantes proveen entradas de sensores múltiples o duales para el mismo instrumento.
12. Estándares de Calibración: estándares comerciales y buffer hacen hoy en día fácil la calibración. Confirmar los estándares preferidos y los métodos de calibración en el instrumento.
13. Timer integral para el controlador y operaciones PID: dosificación química y otros procesos pueden requerir un timer interno con funciones lógicas PID (Proporcional, Integral, Derivativo) para controlar bombas y válvulas.

Las plantas deben estar equipadas para identificar puntos de vulnerabilidad de seguridad y tomar pasos para asegurar los sistemas de distribución de agua tanto como sea posible. Sin embargo, no es factible examinar cada variable posible en el agua en cualquier momento para su seguridad, pero hay razonables precauciones que puedan tomarse para asegurar la seguridad y calidad de agua.

La única manera de poder de detectar un problema en el agua es identificar cambios en la composición del agua y entender que variables cambian y que podrían indicar. En orden a detectar cambio alguno, las plantas deben monitorear continuamente on-line tanto el agua cruda y tratada a través del sistema para obtener datos como línea base para la composición de agua normal. Es mejor tener una línea base de datos de por lo menos un año en orden a entender, monitorear y detectar problemas. Una vez que la línea base esta determinada, los operadores pueden entonces hacer juicios informados donde los cambios detrás de los problemas normales aparezcan y que podrían causar desconcierto. En el medioambiente de hoy en día, el monitoreo continuo on-line es claramente apropiado e importante, y la industria adoptará esto como un procedimiento estándar.

La primera pregunta que muchas plantas se hacen cuando van a instalar sistemas de monitoreo continuo on-line para ayudar a asegurar la calidad de agua es:

¿Cuántos monitores de alarma requiere la planta? Para muchos la respuesta a esta pregunta es con frecuencia: tanto como ellos puedan permitirse. Es importante hacer una evaluación de la vulnerabilidad de la seguridad para determinar probables puntos de debilidades en el sistema de distribución de agua. Las plantas con más frecuencia encontrarán varios puntos de vulnerabilidad a través de la distribución, y es mejor instalar un sistema de calidad de agua en cada uno de esas áreas débiles, o al menos en muchas de ellas como sea posible.

Cuando se seleccione instrumentación para monitoreo continuo on-line, es importante evaluar diversos factores. En términos de costos, además de los costos

del sistema, la planta debe también entender que el costo total de cualquier interrupción, entrenamiento y mantenimiento lo será también.

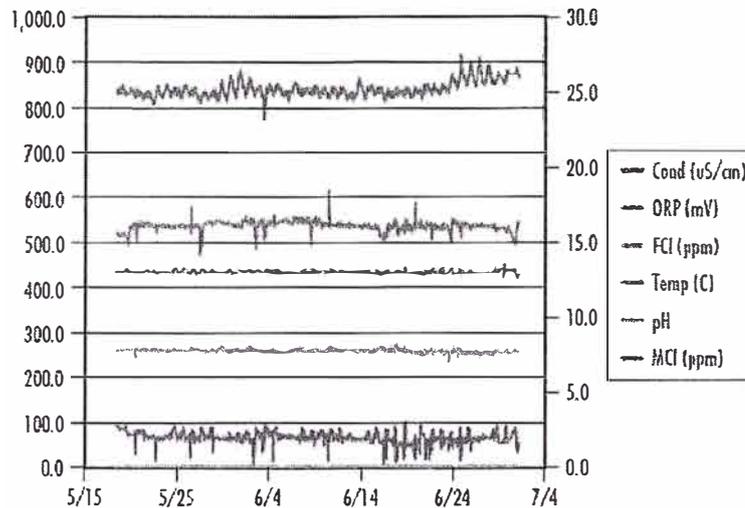


Figura 42. Monitoreo de Calidad de Agua On-Line

Cuando se seleccione un partner para implementar este tipo de sistema de monitoreo de calidad de agua, las plantas deben entender que ninguna solución encajará para cada planta, y ellas deberían variar de proveedores que venden un paquete solución. Cada planta tiene sus propios puntos individuales de vulnerabilidad que debe proteger y sus propias necesidades en términos de costos, entrenamiento y mantenimiento, tanto que la solución debería ser bastante flexible para ser personalizada tanto más o tanto menos como la planta lo requiera.

Además, es importante que la planta seleccione instrumentos que sean probados para ser confiable y tener una larga vida aún en los ambientes más sucios. Sensores que han sido probados que pueden trabajar en operaciones tan sucias, tales como aquellas en procesos químicos o pulpa y papel, necesitarán ser reemplazados con más frecuencia que los que son normalmente usados en las más benignas aplicaciones, tales como los ambientes en laboratorios.

Otros factores de costo que las plantas deben considerar durante el proceso de selección es el costo total de instalación, entrenamiento y requerimiento de

del sistema, la planta debe también entender que el costo total de cualquier interrupción, entrenamiento y mantenimiento lo será también.

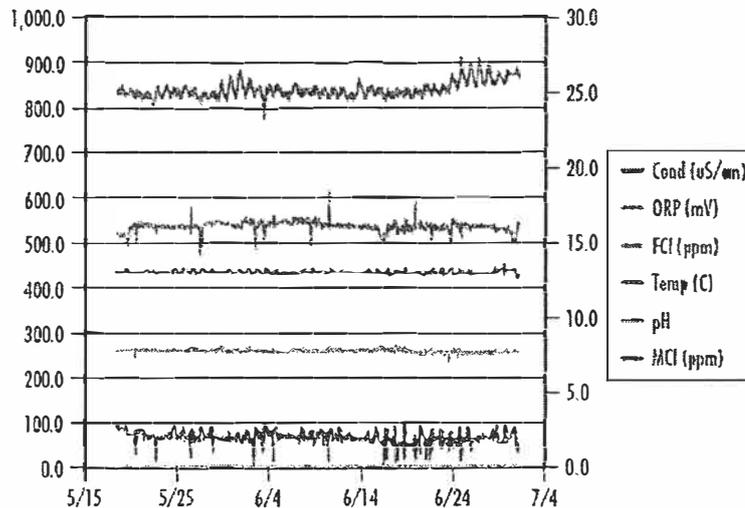


Figura 42. Monitoreo de Calidad de Agua On-Line

Cuando se seleccione un partner para implementar este tipo de sistema de monitoreo de calidad de agua, las plantas deben entender que ninguna solución encajará para cada planta, y ellas deberían variar de proveedores que venden un paquete solución. Cada planta tiene sus propios puntos individuales de vulnerabilidad que debe proteger y sus propias necesidades en términos de costos, entrenamiento y mantenimiento, tanto que la solución debería ser bastante flexible para ser personalizada tanto más o tanto menos como la planta lo requiera.

Además, es importante que la planta seleccione instrumentos que sean probados para ser confiable y tener una larga vida aún en los ambientes más sucios. Sensores que han sido probados que pueden trabajar en operaciones tan sucias, tales como aquellas en procesos químicos o pulpa y papel, necesitarán ser reemplazados con más frecuencia que los que son normalmente usados en las más benignas aplicaciones, tales como los ambientes en laboratorios.

Otros factores de costo que las plantas deben considerar durante el proceso de selección es el costo total de instalación, entrenamiento y requerimiento de

mantenimiento. Algunos instrumentos disponibles en sistemas de monitoreo de calidad de agua son fáciles para usar y minimizan el entrenamiento y tiempo de arranque. Los instrumentos inteligentes permiten información de diagnóstico de sensor y analizador para ser accedidos por el operador para eliminar alarmas falsas causadas por fallas en el sensor.

Además, muchos sensores de larga vida requieren tan poco mantenimiento que los operadores no necesitan interactuar con el sistema de análisis día a día. En términos de instalación, hay un par de opciones que las fábricas pueden escoger dependiendo de sus necesidades. Ellas pueden escoger sistemas que vienen pre – integrados con un sistema completo de control de procesos y, en ese caso, la instalación es muy simplificada. Una planta puede también seleccionar un sistema plug – and – play que es compatible con un sistema SCADA.

La clave para un sistema de calidad de agua segura en el ambiente de hoy es usar parámetros establecidos para medir cambios sobre el tiempo por monitoreo continuo en varios lugares a través de la red de distribución de agua. Monitoreando los patrones y detectando los cambios en esos patrones, las plantas pueden estar mejor preparadas para detectar problemas en el agua antes que puedan afectar a las comunidades que la utilizan.

Medición On – Line vs. Medición en Laboratorio

El monitoreo en laboratorio consiste de tomar muestra discretas o compuestas y entonces analizarlas en el laboratorio. Este a su vez tiene algunos inconvenientes:

- Las variaciones en el tiempo de muestreo y/o análisis pueden causar resultados inconsistentes. Si un ensayo de laboratorio es solo realizado dos veces por turno, los problemas en el proceso pueden ocurrir entre ensayos sin ser notados. Con la instrumentación on-line, los problemas se mostrarán casi inmediatamente. Los retrasos pueden causar mayores

problemas en el proceso. Una de las razones de que un instrumento de procesos sea usado, es reducir el tiempo y esfuerzo gastado en monitorear un proceso. Si un instrumento requiere un gran trato de mantenimiento, este inválido el propósito de tener el analizador.

- En muchos casos, todos los operadores deben hacer cambios de reactivos y realizar rutinas de mantenimiento. El tiempo no es gastado recolectando y analizando muestras. Los ensayos en laboratorio dejan errores entre técnicos y con el mismo técnico, errores de recolección de muestras, diluciones, contaminación, material de vidrio sucio, etc., pueden ocurrir donde se realizan ensayos de laboratorio.
- Una consideración en cualquier proceso para la producción de agua y/o otro tratamiento es el uso de la acumulación de datos tanto si este viene de análisis de laboratorio o proviene de monitoreo continuo en línea. Cada tipo de análisis tiene sus propias ventajas y desventajas, sin embargo los analizadores on-line vienen con protocolos de comunicación y software necesarios para la descarga de diversos datos de procesos y algunos de ellos nos permiten trabajar curvas y estadísticas, en otros casos los mismos analizadores cuentan con displays gráficos que muestran las curvas y tendencias de los parámetros en el tiempo.
- Además de monitorear, la instrumentación on-line puede ser también usada para dosificación de control químico. Muchos analizadores tienen la habilidad para controlar la dosificación química basada en la respuesta del instrumento a la muestra.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis automático (on-line) es la clave para resolver los problemas críticos del agua y reducir los requerimientos de mantenimiento. La rápida detección y corrección en cada unidad de procesos puede recortar los costos de tratamiento y mantener el proceso de las plantas controlados.
- Un punto importante a tener en cuenta al evaluar la implementación de un sistema automático de control analítico on-line es la evaluación de costos, podríamos tener en cuenta al comparar con el monitoreo y análisis de laboratorio los anteriores puntos enumerados, sin embargo se debe tener en cuenta también que de ocurrir un error en los análisis en laboratorio ó la falta de una temprana detección de estos, las consecuencias a la salud que ello podría ocasionar en la cantidad de personas que consumen este producto vital, el costo de la salud y vidas humanas no tiene precio y no exige comparaciones.
- Los análisis de laboratorio deberían ser usados para suplementar la instrumentación on-line. Ayudar a resolver problemas, verifican la calibración de los instrumentos on-line. Estos siempre tienen un lugar aún donde los analizadores on-line están en uso.
- El tratamiento del agua es un tema de la ingeniería de procesos en la cual las facultades de ingeniería química deberían incidir mayores esfuerzos y hacer de esto un curso obligatorio, ya que su influencia abarca toda la Industria de Procesos conocida. En cualquiera de estas industrias, ya sea alimentos, bebidas, productos químicos, producción de pulpa y papel, azúcar, bio-combustibles, petróleo, minería, etc., siempre se requerirá calderos, intercambiadores de calor, torres de enfriamiento que requieran sistemas de tratamiento de agua para uso industrial, ó también agua de alta pureza o potable para su propio proceso para ser usada como producto, ó

en forma de aguas residuales las cuales deben cumplir cierta normatividad para su descarga que involucra altos conocimientos de ingeniería de procesos, y no terminando ahí el problema ya que cada vez el agua es más escasa, usar estas mismas aguas tratadas para reutilizarlas vía procesos adicionales más avanzados. El tratamiento de agua va acompañado con otras especialidades de la ingeniería química como son: instrumentación, automatización, corrosión, análisis químico, operaciones unitarias, incluyendo temas paralelos como seguridad industrial y legislación ambiental.

- Otro punto importante que debe incidirse en la actual curricula, son los cursos de administración y ventas técnicas, que son todo una especialidad que requiere ser implementada como cursos electivos, ya que existe un amplio mercado en esta área para ingenieros químicos. La tecnología cambia día a día, nuevos procesos, productos, sistemas, soluciones son creadas y deben ser transferidas y mostradas a las empresas del país. Un ingeniero de ventas debe saber manejarse tanto en el terreno técnico como en el comercial. Manejar ambas habilidades le abrirá un sin número de posibilidades profesionales que le permitirán estar capacitado continuamente en alta tecnología, viajar a diversos lugares del mundo para capacitarse directamente en fábricas, visitar ferias tecnológicas, congresos, y diversos tipos de plantas que incluyan nuevos retos profesionales para la ingeniería de procesos.

VII. BIBLIOGRAFIA

- SOLSONA F./ MÉNDEZ J., “Desinfección del Agua”, 1ra Edición, Lima, Editorial de OPS/CEPIS, Año 2002, Capítulo 3 “Cloro”, Pág.: 31 – 63.
- CANEPA DE VARGAS L., “Manual I: Teoría - Tratamiento de Agua para Consumo Humano”, 2da Edición, Editorial OPS / CEPIS, Lima, Año 2006, Capítulo 2: Calidad del Agua, Pág.: 14.
- CANEPA DE VARGAS L., “Manual II: Diseño de Plantas de Tecnología Apropriada”, 2da Edición, Editorial OPS / CEPIS, Lima, Año 2006, Capítulo 3: Floculadores, Pág.: 91 – 131.
- SCHILZ T., “Turbidity Measurement Key to Drinking Water Treatment” Waterworld Magazine, Mayo 2004, Pág.: 30 - 31.
- VOLBEDA J. / HAWKINS R., “A New Direction – Newport News Waterworks switches from chlorine to ozone for its primary disinfection process” Water & Waste Digest, Marzo 2006, Pag: 40-41.
- COVEY J., “Dealing with pH dependence” Water & Waste Digest, Mayo 2007, Pág.: 35-36.
- ANTON P., “Selecting a process analyzers that will do the job”, Processing Magazine, Marzo 2005, Pete Anton, Pág.: 4 – 5.
- SCHILZ T., “Advances in instrumentation control costs and meet regulations”, Environmental Science & Engineering Magazine, Enero 2005, Pág.: 26 – 27.
- ROSEMOUNT ANALYTICAL (2004), Brochure “Drinking Water Solutions”, www.raihome.com, Pág.: 2 – 8
- ROSEMOUNT ANALYTICAL (Octubre 2004), Application Data Sheet ADS 4950-07/Rev B, “Ozone Measurement in Potable Water”, www.raihome.com
- ROSEMOUNT ANALYTICAL (Agosto 2004), Application Data Sheet ADS43-019/Rev B, “Coagulation and Flocculation”, www.raihome.com

- ROSEMOUNT ANALYTICAL (Setiembre 2005), Application Data Sheet ADS 4950-22/Rev B, “Free Chlorine Measurement in Drinking Water Treatment”, www.raihome.com
- HACH COMPANY (2004), Application Note AN-OZ1, “Ozone Monitoring in a Drinking Water Treatment Plant”, www.hach.com
- HACH COMPANY (2004), Application Note AN-T1, 2004, “Turbidity Monitoring in a Municipal Drinking Water Treatment Plant”, www.hach.com
- GLI INTERNATIONAL (Feb 2001), Technical Bulletin TB-P1: “pH Measurement”, www.hach.com
- VOLBEDA J., “Small Steps Can Add Up to Big Savings and Improved Quality” Water Conditioning & Purification Magazine”, December 2004, Pág.: 26 – 30.